CHRISTIAN GELLERT

aprenda Motores en 15 días

un método ideal de autoenseñanza sin matemáticas

VAPOR DIESEL GAS EXPLOSION

H.A.S.A. EDITORIAL HISPANO AMERICANA S.A.

CHRISTIAN GELLERT
con la dirección técnica del
ING. FRANCISCO L. SINGER

APRENDA MOTORES EN 15 DIAS

a VAPOR
a GAS
a EXPLOSION
DIESEL

SEGUNDA EDICION



EDITORIAL HISPANO AMERICANA S. A.
ALSINA 731 BUENOS AIRES

Día 1

El estudio de los motores térmicos es apasionante, pero requiere algunos conocimientos previos, entre los que se encuentran los principios básicos de la mecánica, como son la velocidad, la aceleración, la energía, la potencia, etc. En esta primera jornada nos ocuparemos de tratar esos principios o repasarlos con los que ya los saben, todo lo cual nos llevará a unificar definiciones y terminología.

Estando destinado este libro a una masa lectora heterogénea, debemos descartar las explicaciones apoyadas en conocimientos científicos o matemáticos para no perturbar la comprensión de los no iniciados en tales disciplinas. Ello no será obstáculo pues se puede llegar a comprender perfectamente bien el funcionamiento de un motor sin entrar en conceptos teóricos avanzados, los que dejamos para los estudiosos que los buscarán en otras obras más adecuadas a esos fines.

Este breve prefacio del primer día de labor nos pone ya en el tema que encabeza la página. Comencemos, pues, con las nociones de mecánica.

NOCIONES DE MECANICA

La Mecánica es la parte de la Física que estudia las condiciones de reposo o de movimiento de los cuerpos, y las razones que producen una de esas condiciones. En consecuencia, nuestro primer tema es el de la inercia.

La inercia

Uno de los principales fundamentos de la Mecánica dice que un cuerpo no puede modificar por sí mismo el estado de reposo o de movimiento que posee. Para cambiar un estado por otro es menester la intervención de un agente exterior. Así, si una piedra está apoyada en el suelo, en reposo, para que comience a moverse hay que empujarla; la acción de empuje es el agente que ha cambiado el reposo por el movimiento. Claro está que si intervienen dos o más agentes, en condiciones tales que sus efectos se anulan, la piedra no se moverá; es el caso de que se la empuje desde dos lados, pero de manera que los sentidos de la acción sean contrarios. Pero tal condición puede interpretarse como que no existe el agente, puesto que se compensan y no producen ningún efecto sobre el cuerpo. Si un cuerpo no está en reposo, debe estar en movimiento, y si no mediara ningún agente que lo frene, ese movimiento continuará indefinidamente. Veremos posteriormente que tal cosa no es posible, porque existe un agente que conspira contra todos los movimientos, frenándolos: es el rozamiento.

El movimiento

Un cuerpo cualquiera puede moverse, y ese movimiento se puede cumplir en una gran variedad de formas distintas. Puede moverse en línea recta, en un camino circular alrededor de un eje o centro, en una trayectoria que tenga forma geométrica regular o cualquiera, etc. De todos esos casos, interesan especialmente dos, que son el movimiento en línea recta, o rectilíneo, y el que se cumple según un círculo, llamado circular. Este último tiene una vastedad de aplicación tan grande en la mecánica que sería oficioso recordarlo.

Además de considerar la trayectoria que sigue un cuerpo en su movimiento, para clasificar la categoría, hay que atenerse al hecho de que si ese movimiento se cumple manteniendo una velocidad uniforme o variada. En tal caso, se hablará de movimiento *uniforme* o de movimiento *variado*. La variación puede ser en aumento o en disminución, teniéndose el movimiento *acelerado* y el *retardado*, respectivamente.

Muchos de los principios fundamentales que rigen un tipo de movimiento tienen aplicación en el otro, con algunas salvedades. Separaremos el estudio de los dos tipos fundamentales, para evitar confusiones.

Movimiento rectilíneo

El desplazamiento de un cuerpo siguiendo una línea recta se llama *movimiento rectilíneo*. Como ejemplos pueden considerarse el movimiento de un tren, de un automóvil, de una persona caminando o corriendo, etc, aunque en esos casos el desplazamiento no sea estrictamente una línea recta. Lo que ocurre es que en pequeños tramos la trayectoria es recta y entonces se puede hacer esa suposición, aunque existan curvas no muy pronunciadas.

En el estudio de un movimiento deben considerarse especialmente la distancia recorrida, el tiempo empleado en recorrerla y, como resultado de ello, la velocidad, la aceleración o retardación, etc.

Como primer concepto a introducir tenemos el de la *velocidad*. Decimos de ella que es la distancia recorrida en la unidad de tiempo. Si la distancia la medimos en Km y el tiempo en horas, la velocidad es la cantidad de kilómetros recorridos en una hora. Y siempre se podrá calcular la velocidad dividiendo la distancia recorrida (Fig. 1) por el tiempo empleado en recorrerla. Claro que todo esto es cierto si el movimiento se cumple con velocidad uniforme, pues si un vehículo, por ejemplo, se desplaza 50 Km a una velocidad, otros 50 a otra velocidad y finalmente 100 km a una velocidad diferente, el resultado de dividir los 200 Km por el tiempo transcurrido nos dará una velocidad ficticia, que no es la de ninguno de los tramos, sino precisamente el promedio, y que se llama *velocidad media*.

Y así llegamos a poder distinguir un movimiento rectilíneo *uniforme*, que es el que se cumple con velocidad constante, de uno *variado*, que es el que se cumple con velocidades diferentes a lo largo de su recorrido. Cuando la velocidad aumenta, el movimiento es *acelerado* y cuando disminuye es *retardado*.

Podemos así definir un importante concepto de la mecánica, que es la *aceleración*. Si un móvil en desplazamiento tiene una velocidad v_1 (Fig. 2) y en un lapso t pasa a otra velocidad mayor v_2, el concepto popular de la aceleración puede definirse técnicamente como el cociente de la diferencia de velocidades y el tiempo. Por ejemplo, un coche viaja a 50 Km/h y en un lapso de un cuarto de hora (0,25 h) pasa a 70 Km/h. La aceleración puede calcularse restando 70 — 50 = 20 y dividiendo esos 20 por 0,25 que da 80. Claro que el ejemplo dado puede ser objetado por los técnicos, y por dos razones. Primero porque hemos omitido decir que la aceleración tiene una unidad de medida, que en el caso propuesto es Km/h², es decir kilómetro por hora al cuadrado. Y en segundo lugar que usamos unidades poco lógicas en la determinación de la aceleración, ya que en la Mecánica son preferibles las que resultan de medir las distancias en metros, o aún en centímetros, y los tiempos en segundos. Para los lectores no iniciados en las matemáticas resultará complicado el resultado que dimos de Km/h², pero no nos debe preocupar, pues podremos entender el funcionamiento de cualquier motor sin llevarle mucho el apunte a ello.

En el caso de un movimiento que reduce su velocidad, o sea del móvil que es frenado, sa-

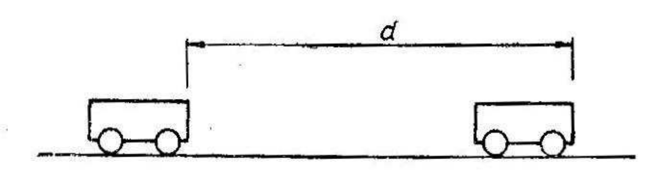


Fig. 1. — Camino recorrido por un cuerpo en movimiento.

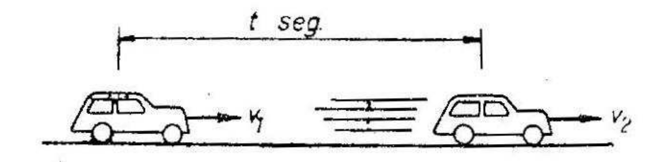


Fig. 2. — Un móvil que aumenta su velocidad está animado de movimiento acelerado.

bemos que se llama *retardado,* y en lugar de la aceleración calcularíamos la *retardación* en la misma forma, restando las velocidades y dividiendo por el tiempo en que hubo ese cambio. Por ejemplo, un móvil que camina a razón de 5 m/s (metros por segundo) y se frena totalmente en 2,5 segundos, tuvo una retardación que sale de la diferencia de velocidades, que será 5 por ser cero la velocidad final, dividida por 2,5, resultando 2 m/s^2, es decir, leemos 2 metros por segundo al cuadrado.

Movimiento circular

En el caso que un cuerpo móvil siga como trayectoria una circunferencia, el movimiento se dice que es *circular, rotativo* o de *rotación.* Esto ocurre con todos los cuerpos que tienen un eje cuya única posibilidad es girar sobre sí mismo, caso de las ruedas, poleas, etc. En la figura 3 se ilustra sobre este tipo de movimiento, indicándose un punto *A* cuya velocidad de desplazamiento puede interesar. Ese punto se desplaza sobre una circunferencia que tiene un radio *R* o, lo que es lo mismo, está a una distancia *R* del centro de giro *O*. Cualquiera sabe que si ese punto está cerca del centro se desplazará con más lentitud que si está alejado, y lo sabe porque recuerda el efecto que se sentía en la calesita o en el disco de la risa. Si

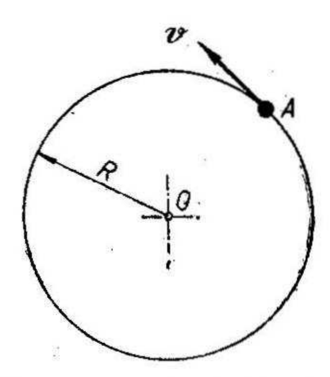


Fig. 3. — Un cuerpo que gira alrededor de un centro tiene un movimiento circular o de rotación.

queremos una explicación de ello usando lo que sabemos de la velocidad, pensemos que el punto *A* está fijo en una rueda que gira y que en un segundo, por ejemplo, da una vuelta completa; esa vuelta representa como recorrido la longitud de una circunferencia. La fifura 4 nos hace ver que la longitud de tal circunferencia es mayor a medida que aumentamos el radio, y por consiguiente el camino recorrido por el punto *A* en el mismo tiempo es tanto más grande cuanto más lejos esté del centro de giro.

Esto tiene una interpretación diferente en la consecuencia pero idéntica en la esencia. Si tenemos dos ruedas de diferente diámetro y las hacemos rodar, el camino recorrido en cada vuelta completa será tanto mayor cuanto más grande sea el diámetro de la rueda.

Para entrar en cálculos, como hicimos antes, la velocidad de un punto que gira alrededor de un eje se puede calcular dividiendo el camino recorrido por el tiempo empleado en recorrerlo. Un cuerpo que gira da una cantidad de

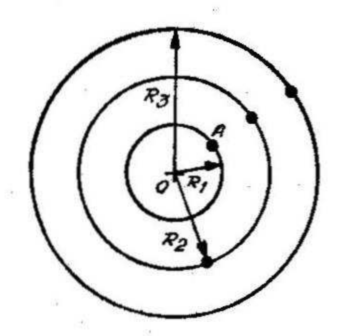


Fig. 4. — A mayor radio mayor velocidad del punto A.

vueltas en la unidad de tiempo, sea ésta el minuto o el segundo, y suele llamarse a esa cantidad con la letra *n*. Luego el camino recorrido será igual a *n* veces la longitud de la circunferencia recorrida en un segundo, o en un minuto, si se prefiere esta unidad de tiempo. La longitud de la circunferencia se halla multiplicando el radio por 2 pi (recordemos que pi vale 3,1416). Surge así una forma simple de calcular la velocidad de un punto en movimiento de rotación. Multiplicamos 2 pi por el radio y por la cifra *n* de vueltas por minuto y tenemos la velocidad dada en metros por minuto (el radio lo tomaremos en metros).

Por ejemplo, el borde de una rueda de 0,30 metros de radio, que gira a razón de 300 vueltas por minuto, tiene una velocidad que se calcula así:

$$v = 2 \times 3{,}1416 \times 0{,}30 \times 300$$
$$= 565{,}488 \text{ m/min}$$

Y vemos que es fácil calcular la velocidad de cuerpos en rotación. En un trabajo sobre motores, es lógico que tenga importancia el conocimiento de la velocidad, tanto en movimientos rectilíneos como rotatorios.

Nociones de Dinámica

La Dinámica es la parte de la Mecánica que estudia el efecto de las fuerzas sobre los cuerpos. Dijimos, al principio del capítulo, que para modificar el estado de reposo de un cuerpo, era menester la actuación de un agente. Había que empujar a la piedra para que se moviera. Ese agente, esa acción que empuja o realiza cualquier otra misión con el mismo objeto, se llama *fuerza.* Diremos entonces, que fuerza es todo aquello capaz de modificar el estado de reposo o de movimiento que tiene un cuerpo. De reposo, cuando lo empuja o tira para moverlo; de movimiento, cuando lo frena.

La locomotora ejerce una fuerza de tracción para arrastrar al tren: el motor de un automóvil ejerce una acción o fuerza que impulsa a girar a las ruedas para mover al vehículo. Hay infinidad de ejemplos para probar que siempre que un cuerpo que está en reposo se pone en movimiento, es porque ha actuado una fuerza. Lo mismo, para hacer cesar un movimiento, es necesario una fuerza que lo frene. Cuando sostenemos un paquete, estamos ejerciendo una fuerza que impide el movimiento, pues la atracción de la Tierra tiende a llevar el paquete hacia su centro, o por lo menos hasta la superficie del suelo. La fuerza que ejercemos impide ese movimiento, que si bien no se realizaba cuando tomamos el paquete de sobre la mesa, por ejemplo, comenzaría de inmediato si sacamos la mesa que lo sostiene.

Las fuerzas tienen los más variados orígenes, según cual sea el agente físico que las produce. La Tierra, con su atracción gravitacional, es uno de ellos. La electricidad, el magnetismo, el calor, la luz, etc., son todos agentes físicos capaces de originar fuerzas. Cómo y cuándo las originan, son asuntos que pertenecen al estudio particular de cada uno de ellos. Por ahora nos ocuparemos de los efectos de las fuerzas sobre los cuerpos, en lo que atañe al efecto sobre su movimiento o su reposo, si es que cambian un estado por otro, o sólo lo modifican levemente.

Concepto de masa

Hemos dicho que una manifestación de la fuerza era la atracción de la Tierra; que esa atracción se manifestaba atrayendo los cuerpos hacia su centro, siguiendo la dirección que llamamos vertical. Ahora bien, un cuerpo colocado en cualquier lugar del espacio está sometido a una fuerza que lo atrae hacia la superficie de la Tierra. Pero, también sabemos que debido a esa fuerza, el cuerpo se moverá rápidamente en la dirección señalada, es decir, caerá con un movimiento acelerado, o, lo que es lo mismo, tendrá una cierta aceleración.

Dejando de lado por un momento las consideraciones anteriores, pasemos a observar un mecanismo conocido, como es la balanza (Fig

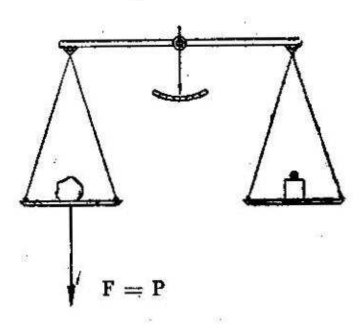


FIG. 5. — La balanza es un caso de equilibrio de fuerzas.

5). Un cuerpo colocado en un platillo y una pesa en el otro provocan el equilibrio, indicado por la aguja superior de la balanza, cuando son iguales. ¿Qué es lo que hace que baje el platillo de la balanza cuando le colocamos un peso encima? La fuerza de la gravedad, la atracción de la Tierra. En ese entonces le llamábamos fuerza, pero si estamos hablando de una balanza, a esa fuerza la llamamos *peso.*

Llegamos a la conclusión que el peso de un cuerpo no es otra cosa que la fuerza con que es atraído por la Tierra. El peso es la medida de la atracción de la gravedad. Igual que las fuerzas, el peso se mide en Kilogramos, lógicamente, ya que *es una fuerza.*

Si no existiera la gravedad, los cuerpos no tendrían peso, y al tomarlos con la mano no se notaría más que su tamaño. Sin embargo están formados por materia densa en mayor o menor grado. ¿Cómo se podría expresar una cantidad de materia que forma un cuerpo, en ese caso de no existir el peso? Surge aquí el concepto de masa, o de cantidad de materia. Si se toma una cierta porción de materia como unidad de masa, otra porción tendrá más masa o menos que la primera, es decir, podemos medirla, determinar cuánto más grande es una que otra, y llegar a decir que el cuerpo tiene una masa de 20 unidades, o de 50 unidades, etc. Se llega así a medir la masa de un cuerpo.

Principio fundamental de la Dinámica

Este principio dice que la fuerza que obra sobre un cuerpo lo hace mover con movimiento acelerado, y cuya aceleración se puede calcular dividiendo esa fuerza aplicada por la masa del cuerpo. Este principio nos da una simple manera para calcular la masa de un cuerpo, puesto que la caída de los cuerpos es acelerada y esa aceleración es conocida (9,8 m/s). Luego, la fuerza que ejerce un cuerpo hacia abajo es su peso, y dividiendo ese peso por 9,8 tenemos la cantidad de masa del cuerpo, por lo que siempre la podemos dar por conocida.

Fuerza centrífuga

Hemos estudiado el movimiento de los cuerpos en rotación, pero sin contemplar sus efectos dinámicos. Veamos cuáles son estos efectos. Supongamos que se ata una piedra a un hilo y se la hace girar rápidamente. Se nota que se ejerce una tracción sobre el hilo que tira la piedra hacia afuera. Esa tracción no puede ser otra cosa que una fuerza, que se llama centrífuga. Si aumentamos la velocidad de giro de la piedra, notamos que aumenta la fuerza centrífuga, al extremo que rompe al hilo, y la piedra es despedida violentamente hacia afuera.

Esas consideraciones vulgarizadas nos dicen varias cosas, que trataremos de explicar (Fig. 6). Sea un punto *O*, el centro de giro de un cuerpo *A*, unido a aquél. El radio de giro es

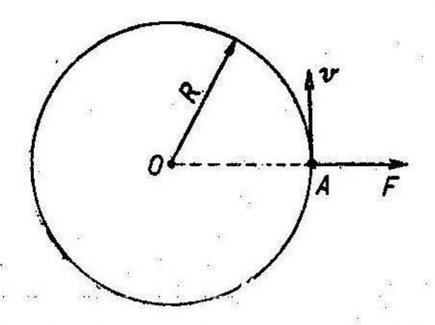


FIG. 6. — La fuerza centrífuga obra sobre todos los cuerpos en rotación.

R. Sobre el cuerpo *A* actúa la fuerza centrífuga que depende del radio y de la velocidad, como podemos comprobarlo con la piedra y el hilo. Ahora bien, la Dinámica nos enseña que si el cuerpo *A* pudiera desprenderse saldría violentamente impulsado por la fuerza centrífuga, y ese movimiento tendría una aceleración que depende del cuadrado de la velocidad que tenía el punto *A* en su rueda, pero que es inversamente proporcional al radio *R* o distancia al centro de la rueda. Aclaremos esto: quiere decir que la fuerza centrífuga, que sabemos es proporcional a la aceleración centrífuga, será tanto menor a medida que nos alejamos del eje, pero crece mucho con la velocidad de rotación, o sea que, por ejemplo a doble velocidad será cuatro veces mayor, a triple velocidad será nueve veces mayor, etc.

Momento de una fuerza. Torca

El estudio de las fuerzas y sus efectos tiene un importante caso particular en la aplicación de las mismas a cuerpos que pueden girar. Es sabido que se originará un movimiento de ro-

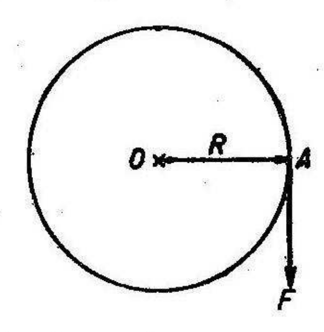


FIG. 7 — Una fuerza aplicada a un cuerpo con centro fijo lo hace girar.

tación, cuya velocidad, aceleración, etc., ya ha sido estudiado. También sabemos que la velocidad de los puntos de un cuerpo que gira es tanto mayor cuanto más nos alejamos del eje. Esta consideración tiene su utilidad en este caso, como veremos.

Sea un cuerpo que puede girar alrededor de un eje o centro *O* (Fig. 7), al que le aplicamos una fuerza *F*, en el punto A. Es fácil comprender que el efecto no será igual, a cualquier distancia del centro *O* que se encuentre el punto *A*. Si para hacer girar al cuerpo hay que realizar un esfuerzo, éste será tanto menor cuanto más distante esté el punto *A* del *O*. Piénsese para ello en una tuerca colocada en su tornillo, a la cual se la quiere apretar; cuanto más largo es el brazo de la llave más fácil es realizar la operación, mientras que con una llave sin mango, no sería posible hacerlo. Quiere decir que una fuerza determinada, de cierto valor, que apliquemos al mango de la llave, no nos dice si podrá apretar la tuerca; hay que especificar el largo del brazo o lo que es lo

mismo, la distancia a que se aplicará esa fuerza desde la tuerca.

De resultas de las consideraciones anteriores, surge la idea de que cuando las fuerzas se aplican para realizar movimientos o esfuerzos de rotación, no basta hablar de las fuerzas, sino que hay que mencionar la distancia a que se aplican desde el centro de giro. En el caso de la figura 7, se mencionará el valor de la fuerza *F* y el *radio de giro* o *brazo de palanca R.*

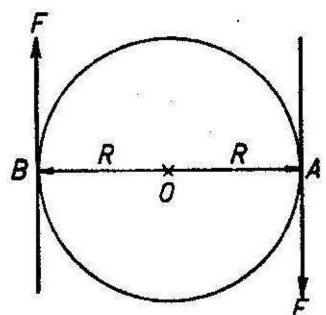


Fig. 8. — Concepto gráfico de la cupla de giro (torca)

Es evidente que cuanto mayor sea la fuerza o el radio, mayor será el efecto, siendo lo mismo aumentar una cosa o la otra. Es decir, que para fijar condiciones, se deben considerar ambas cosas como cooperantes al esfuerzo; en otras palabras, se las debe multiplicar entre sí. Al producto del valor de la fuerza por el radio de giro se lo llama: *momento de la fuerza,* y se lo refiere al centro de giro *O.* Si se mide la fuerza en Kg y el radio en metros, el momento resulta un producto de Kg por m, o sea *Kilográmetros,* nombre que se adoptó para la unidad resultante. Si se mide la fuerza en Kg y el radio en cm, la unidad del momento es Kilogracentímetros. Ambas unidades se abrevian: Kgm y Kgcm, respectivamente.

Es así como, cuando se aplican fuerzas a un cuerpo para hacerlo girar, se habla del momento de esas fuerzas o del momento de giro, aunque es más común referirse a la cupla de giro, cuyo concepto explicamos en seguida.

Tanto en el caso de la llave para apretar tuercas, citado anteriormente, como en los demás que se presentan en la Técnica, lo más común es que para hacer girar un cuerpo se le apliquen dos fuerzas iguales y de sentido contrario, una en cada lado. La figura 8 ilustra sobre esa ubicación. Un cuerpo puede girar alrededor de su eje o centro *O,* y para moverlo se le aplican dos fuerzas iguales *F* y *F,* pero con sentidos contrarios, pues si fueran del mismo sentido, el cuerpo no giraría. Las distancias al centro son también iguales. Piénsese en el ejemplo de la tuerca, y se verá que la llave tiene dos puntos de ataque sobre la tuerca, a la misma distancia de su centro. Cualquiera de las fuerzas *F* de la figura 8 hace girar al cuerpo en el sentido de las agujas del reloj.

Ahora bien, se llama *cupla de giro, par de fuerzas* o, simplemente *cupla (torca),* al producto del valor de las fuerzas por la distancia entre las mismas. Se ve claro que la cupla no es otra cosa que el momento de giro que habíamos definido anteriormente, o sea que, para los casos que se nos presenten, diremos que el momento de giro, o la cupla, estará dada por el producto de la magnitud de la fuerza por la distancia que media entre ambas, si son dos las aplicadas, o por el radio, si es una sola. A la cupla la medimos en Kgm.

Día 2

Si hay en la Técnica un concepto amplio, es el de la energía. No se concibe explotación industrial sin que intervenga en alguna de sus formas, y hasta se crean actividades cuyo único fin es transformar energía. Definiendo el significado del término, se dice que energía es la capacidad de producir trabajo, *pero dicho así, parecería algo muy simple. El obrero antes de comenzar su labor, está provisto de una buena dosis de energía. Veremos que, técnicamente hablando, no basta constatar que se puede producir trabajo, sino que hay que especificar cómo será ese trabajo y dar cifras de cantidad. Así, un trozo de carbón tiene almacenada una cantidad de energía, que se pone de manifiesto al arder, ya que produce calor, y éste puede realizar trabajo.*

La energía se presenta bajo los más variados aspectos, pues la encontramos en un salto de agua de un río, en el calor que irradia el sol, en los combustibles, en el viento, en los seres vivos, en los productos químicos, en las olas del mar, etc. Unas veces en plena actividad, produciendo trabajo, otras veces almacenada esperando la oportunidad de entrar en acción.

Para poder estudiar la energía, es menester definir el trabajo, pero no en su significado vulgar, que se refiere a la actividad de un individuo, sino en su concepto técnico. El trabajo como magnitud física es mensurable, se avalúa con números, como otras magnitudes físicas (fuerza, velocidad, distancia, etc.).

NOCIONES SOBRE ENERGIA

Trabajo

Si se aplica una fuerza a un cuerpo y lo mueve en un recorrido determinado, esa fuerza habrá cubierto una cierta distancia. *Trabajo* es el producto de la fuerza por la distancia recorrida, y como la fuerza se mide en Kg. y la distancia en metros, resulta evidente que la unidad de trabajo será el Kilográmetro, es decir, el trabajo se medirá en Kgm.

Es éste el concepto físico del trabajo, y aplicado a los casos vulgares se ve que resulta muy lógico, pues si en el caso de la locomotora arrastrando al tren, por ejemplo, el carbón que gasta depende del trabajo que está haciendo, es evidente que gastará más cuanto más pesado sea el tren; y cuando mayor distancia recorra. Es lógico que para valorar el trabajo se debe multiplicar la fuerza por la distancia recorrida. En el caso de un individuo que sube un paquete por una escalera, el trabajo que realiza será tanto mayor cuanto más pese el paquete (fuerza) y cuanto más alta sea la escalera (distancia), de modo que su trabajo dependerá del producto de esas dos cosas, fuerza y distancia recorrida por la fuerza.

Según esto, se ve que cuando se aplica una fuerza a un cuerpo, se puede desarrollar trabajo de inmediato o no, según ese cuerpo se nueva o se quede en reposo. Podemos ofrecer un ejemplo clásico, teniendo en cuenta lo que ya sabemos, es decir, que el peso de un cuerpo es una fuerza, de la cual conocemos su magnitud. En efecto, la magnitud de esa fuerza, es la que nos da la balanza.

Coloquemos al cuerpo sobre una repisa ubicada a una altura d sobre el suelo; el peso del cuerpo, o fuerza gravitacional es F (ver Fig. 9). Si se sacara bruscamente la repisa, el cuerpo caería recorriendo la distancia d. Como una fuerza que recorre una distancia ha realizado un trabajo, ese trabajo sería: $F \times d$.

Pero si no se saca la repisa, esa cantidad de trabajo queda latente, almacenado, listo para realizarse en cuanto se pueda. ¿No es un caso

de capacidad de producir trabajo? Evidentemente que sí, luego el cuerpo tiene almacenada una cantidad de energía, tanto mayor cuanto más alto esté colocado. Esa energía depende entonces de su posición, por lo que se la llama *energía de posición o potencial*. La cantidad de energía potencial que tiene ese cuerpo está dada por el trabajo que puede desarrollar, es decir, por el producto $F \times d$, ya dado.

Y si sacamos la repisa, se desarrolla un trabajo. Ya no queda almacenada ninguna energía, se está poniendo de manifiesto, y tiene un valor conocido, igual al trabajo que se está realizando. Esa energía es producida por el

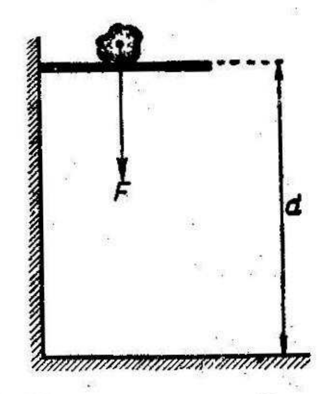


FIG. 9. — Un cuerpo que cae realiza un trabajo.

movimiento que hace la fuerza (peso del cuerpo, en este caso), luego se llama: *energía cinética, o de movimiento*.

Tenemos clasificada a la energía en dos clases: potencial y cinética. La primera es cuando está almacenada, lista para ponerse de manifiesto en cuanto se provoque un cambio, se produzca una excitación, o se libere a la fuerza latente. La segunda es la que se pone en juego cuando se mueve un cuerpo, y si se mueve es porque actúa una fuerza, que recorre cierta distancia. Luego el trabajo que realiza es precisamente esa energía cinética, dada por el producto de la fuerza actuante por la distancia recorrida. Sin embargo, no es ésta la única clasificación que se puede hacer de la energía, pues la anterior sólo se aplica a los cuerpos inertes, refiriéndose a su reposo o su movimiento, sin interesar la substancia de que están hechos, la que puede almacenar energía, como el caso del trozo de carbón.

Sin que tenga nada que ver con el estado de reposo o de movimiento de los cuerpos, la energía se presenta en la naturaleza en muy variadas formas. No olvidemos que dijimos que se llamaba energía a la capacidad de producir trabajo, y que un combustible puede desarrollar una cantidad de trabajo, pues basta ponerlo en una locomotora, en un automóvil, etc. para que tenga lugar una transformación que dará por resultado un trabajo, ya que el vehículo será llevado de un lugar a otro; habrá una fuerza y una distancia recorrida.

No sólo los combustibles tienen energía almacenada, pues ciertas substancias químicas, con las cuales se hacen las pilas eléctricas, acumulan energía eléctrica, que no es otra cosa que una nueva forma de la energía, y con la cual puede efectuarse cualquier trabajo, ya que es susceptible de transformarse en cualquier otra forma de utilización.

El viento, el agua en movimiento en los ríos y en los saltos, las olas, etc., son casos evidentes de aprovechamiento de energía potencial y cinética, o combinaciones de ambas. Cuando se pone la rueda de una turbina en un salto de agua o en la corriente de un río, dará vueltas, lo que significa una cantidad de trabajo. Luego, el salto o la corriente estaban provistos de energía.

Potencia

Cuando una fuerza recorre una distancia se dice que hace un trabajo pero no interesa si para hacerlo tarda un minuto o una hora. Piénsese en dos vehículos que tienen igual peso, pero uno de ellos recorre una distancia en la mitad del tiempo que emplea el otro. ¿Qué se pensará del primer vehículo? Que tiene más potencia, que su motor será más potente, ya que a igual fuerza a arrastrar, a igual peso y a igual distancia recorrida, es decir, a igual trabajo a realizar, uno lo hace en un tiempo, y el otro en la mitad de ese tiempo. Surge así un nuevo concepto físico de la expresión vulgar. El concepto de *potencia*, que tiene su definición técnica.

Potencia es el trabajo realizado en la unidad de tiempo; el trabajo realizado por una fuerza en un segundo. Nótese la relación que hay entre el concepto físico de la potencia y el significado vulgar. En un segundo de tiempo el vehículo más potente recorrerá doble distancia que el otro, luego realizará doble trabajo, luego su potencia será doble. Se encuentran perfectamente coincidentes los dos conceptos.

Matemáticamente, si una fuerza realiza un trabajo en un tiempo dado, se puede expresar

la potencia por el cociente entre el trabajo y el tiempo.

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Trabajo}}{\text{Tiempo}}$$

Y como el trabajo se mide en Kgm y el tiempo en segundos, la potencia se medirá en Kgm/s (Kilográmetros por segundo).

En la Técnica, la unidad de potencia definida ha resultado un poco chica, y se había adoptado otra, más grande, que se llamó H.P. (de: Horse Power, caballo-potencia) y que equivalía a 75 Kgm/s:

$$1 \text{ H.P.} = 75 \text{ Kgm/s}$$

Aunque han surgido algunas discrepancias entre esta denominación, ya impuesta por la costumbre, y la normalización de las unidades, pues en su origen, el H.P. equivalía a una unidad de potencia de 33.000 Libras-pie/minuto, pues la fuerza se tomaba en libras (0,454 gramos); la distancia se medía en pies (0,305 m) y el tiempo se contaba por minutos. De resultas de esas equivalencias el H.P. no da exactamente 75 Kgm/s sino que da 76,16 Kgm/s. Para evitar dudas, se pensó en llamar H.P. a esta cifra de 76,16 y C.V. (caballo-vapor) a la de 75 Kgm/s. Como la diferencia es reducida, la costumbre impuso la abreviatura H.P. asignándole una equivalencia de 75 Kgm/s. Pero técnicamente debe tenerse:

$$1 \text{ C.V.} = 75 \text{ Kgm/s}$$

Ejemplo. Supongamos que se desee instalar una bomba para extraer agua de un pozo, y que sea menester una cantidad de 10.000 litros por hora. La profundidad del agua es de unos 40 metros. Se desea saber qué potencia debe tener el motor acoplado a la bomba, suponiendo que de él se aprovechara toda la energía que produce.

Calculemos primero la cantidad de trabajo a realizarse en una hora. Como cada litro de agua pesa un Kg, los 10.000 litros pesarán 10.000 Kg. La distancia a recorrer por el agua es de 40 m., luego el trabajo será:

$$T = 10.000 \times 40 = 400.000 \text{ Kgm}$$

Ahora calculemos la potencia. El tiempo en que debe realizarse esta cantidad de trabajo, es una hora, que tiene 3600 segundos, luego la potencia, trabajo realizado por segundo, valdrá:

$$P = \frac{400.000}{3600} = 112 \text{ Kgm/s}$$

Y reduciendo esa potencia a C.V., se tiene:

$$\frac{112}{75} = 1{,}48 \text{ C.V.}$$

Que en la práctica resultará mucho mayor, porque no se aprovecha toda la energía producida por el motor.

Pérdidas de trabajo

Dijimos recién que no toda la energía producida por el motor es aprovechada. Veamos por qué es esto. La energía se transforma, pero no aparece o desaparece como por encanto. Una cantidad de energía, después de una serie de transformaciones, debe quedar en igual cantidad. En una máquina hay ejes, y los ejes giran dentro de los cojinetes. Al rozar dos metales entre sí, se produce un calentamiento de las superficies que rozan, y sabemos que el calor es una manifestación de la energía. Pero esa energía que se pone de manifiesto en forma de calor, y que será irradiada al aire sin poderse aprovechar, tiene que salir de algún lado, tiene que ser transformación de otra forma de energía. Es evidente que debe salir de la que suministra la máquina, de modo que no toda esta útima se podrá aprovechar, puesto que una parte de ella se transforma en calor.

Luego, en toda máquina, en todo motor, mecanismo o proceso de cualquier índole donde se transforma energía, hay pérdidas, de modo que no queda utilizable toda la energía de que se disponía antes de la transformación. Si se están realizando movimientos de piezas o mecanismos, la pérdida se pone de manifiesto al calentarse por rozamiento las partes en movimiento que apoyan en otras. Basta que un cuerpo se mueva para que roce con el aire y lo caliente algo. Esa cantidad de calor que queda en el aire representa una energía, que se restará de la que tenía el cuerpo en movimiento. Por esta razón, si arrojamos un cuerpo al espacio, con cierta energía inicial, ese cuerpo se detendrá al cabo de cierto tiempo, pues el aire le va consumiendo la energía que posee, pues roza continuamente con él, convirtiéndose la energía en calor.

Igualmente, si echamos a rodar un vehículo, debería seguir en movimiento siempre, pues la energía que se le comunicó le permitiría hacerlo. Pero, las ruedas rozan con la superficie de apoyo, produciendo una pequeña transformación de energía cinética en calor (energía térmica); además el vehículo roza también

con el aire, habiendo así otra producción de calor, con lo que la energía que llevaba el vehículo será poco a poco transformada toda en calor y el movimiento será frenado paulatinamente, hasta que el vehículo se detiene. Esto es fácil de comprobar, echando a rodar una bola sobre el piso liso. Al cabo de cierto recorrido, la bola se detiene. ¿Dónde quedó la energía que llevaba? Transformada en calor, parte del cual lo tiene la bola y el resto se reparte entre el piso y el aire. Claro está que esa cantidad de calor es muy pequeña, y no será perceptible al tacto, pero sí a métodos científicos.

Resumiendo, si se dispone de una cierta cantidad de energía, nunca se puede transformar toda ella en trabajo, pues una parte se pierde inevitablemente. La cantidad aprovechada se llama: *trabajo útil*. La cantidad que se pierde se llama: *trabajo perdido*. La energía disponible, medida como un trabajo, se llama: *trabajo total* o *producido* en contraposición del útil o aprovechado.

Rendimiento

Es este un concepto de importancia fundamental en la Técnica. Toda la ciencia industrial se aplica a veces para estudiar la forma de mejorar el rendimiento de una transformación de energía. La palabra de por sí es suficiente clara, pero el concepto técnico del rendimiento es más claro aún.

Se llama rendimiento al cociente entre el trabajo útil y el producido o total. Es evidente que se deben tomar los dos trabajos en la misma unidad. También es evidente que el rendimiento será siempre menor que uno (1), pues si fuera uno todo el trabajo se aprovecharía, ya que el útil sería igual al total, lo que sabemos que es imposible.

En la práctica se acostumbra a dar el rendimiento en %, diciendo que una máquina tiene el 80 % de rendimiento, por ejemplo. Claro está que ese 80 % equivale a un cociente de 0,80; luego para expresar el rendimiento en % no hay más que multiplicar la relación o cociente anterior por 100.

Supongamos por ejemplo, el caso numérico de la bomba, dado como problema de aplicación. Dijimos en esa oportunidad que se consideraba que toda la energía se aprovechaba, cosa imposible. Corrijamos ahora el resultado de ese problema, admitiendo que sólo se podrá aprovechar un 40 % de la energía producida por el motor.

Conocida la potencia necesaria, se la debe dividir por el rendimiento expresado en decimales, o, si éste está expresado en % se multiplica además por 100. En nuestro caso tenemos una potencia de 1,48 C.V. y el rendimiento vale 40 %. Luego tenemos que la verdadera potencia necesaria será:

$$P = \frac{100 \times 1{,}48}{40} = 3{,}7 \text{ C.V.}$$

De modo que en lugar de 1,48 C.V., como sería la cifra teórica, hacen falta 3,7 C.V. cifra real. Las conclusiones que se sacan de esto son simples: convendrá en todos los casos trabajar con máquinas de mayor rendimiento posible, y encaminar todos los esfuerzos para mejorar el rendimiento de las existentes.

TRANSFORMACIONES DE LA ENERGIA

Según sabemos, la energía no se crea ni se destruye; en todo proceso en que se pone en juego energía, hay una parte aprovechada y otra parte de pérdidas. Las manifestaciones naturales de la energía son muy variadas, pero se las puede agrupar en cuatro clases principales; las demás se pueden incluir en esas cuatro.

Tendremos así la energía mecánica que también hemos llamado cinética, y que se manifiesta en el viento, en los saltos de agua, en las mareas, etc. El segundo grupo lo forma la energía eléctrica, acumulada en las grandes masas, nubes y hasta en la Tierra misma. Sigue el tercer grupo, formado por la energía térmica, que la encontramos principalmente en la radiación de calor solar, en los volcanes, en los lagos subterráneos, etc. Y. finalmente, la energía química que está almacenada en los combustibles, en los explosivos, etc.

Cada una de estas manifestaciones de la energía es susceptible de ser transformada en otra, mediante un proceso natural o artificial. Todo el ingenio humano se ha aplicado a conseguir más y mejores transformaciones, o por lo menos a reducir las pérdidas inevitables en cada transformación. Hay algunas de éstas que no son comunes, pero no imposibles, ya que siempre la energía se puede transformar. Otras veces resulta más simple o conveniente hacer dos transformaciones sucesivas para llegar a una forma determinada, que hacer la directa.

Veamos algunos casos de transformación de energía, por lo menos los más comunes en la Técnica. No se interprete que las descripciones

siguientes son las únicas posibles, o las mejores, pues en ningún momento se puede asegurar que tal sistema es el mejor, ya que siempre se puede descubrir otro que lo supere. Antes de la invención de la máquina a vapor, para navegar no se transformaba ninguna energía, pues se aprovechaba la cinética del viento para aplicarla al barco. Después se logró transformar la energía química del combustible en mecánica, que es la que se aplica a la hélice y provee la propulsión.

Transformación de energía mecánica en eléctrica

Hay innumerables ejemplos, pero el más común es el de las turbinas hidráulicas, que se mueven impulsadas por la energía cinética del agua (ver Fig. 10). Al girar la rueda arrastra

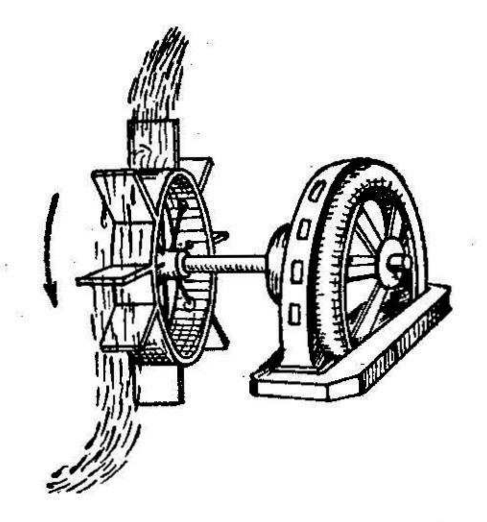


FIG. 10. — Transformación de la energía mecánica en eléctrica.

el rotor de un generador eléctrico, y tenemos así la expresión más simple de una usina hidroeléctrica.

En realidad en todos los tipos de usinas generadoras de electricidad cuya denominación correcta sería *transformadoras de energía*, se convierte energía mecánica en eléctrica, pero en las movidas por fuerza hidráulica no hay otra fuente anterior a la transformación. En las usinas térmicas, si bien la máquina a vapor impulsa a los generadores eléctricos, ella a su vez, para marchar, ha necesitado una transformación previa de energía.

Otro caso de transformación directa de energía mecánica en eléctrica es el generador aeroeléctrico, suerte de usina en miniatura accionada por el viento. Estos equipos se han popularizado en la campaña, substituyendo a los grupos electrógenos alimentados a nafta o a petróleo, por su economía. Se ve que la energía mecánica o cinética puede proveerla una corriente de agua, de aire, o cualquier otra fuente; lo esencial es disponer de ella y no pensar en todos los posibles orígenes.

Transformación de energía mecánica en otras formas

En realidad, la energía cinética o mecánica se transforma en la práctica en eléctrica, o se usa tal como es. Sólo habrá que cambiar ligeramente su característica. Así, en una bicicleta, por ejemplo, sólo hay adaptación y no transformación de energía. Y así en los barcos accionados por el viento, en los molinos a viento para diversos usos, en las norias, en muchas máquinas simples, etc. En todos esos casos, sólo se adapta la energía mecánica disponible para ser utilizada, con algunos cambios de aspecto pero no de esencia, no hay transformación.

Es poco común transformar energía mecánica en térmica o en química, pero, en cambio, las dos inversas son muy empleadas. En rigor, la transformación de energía mecánica en térmica no se busca sino que se presenta sola, en forma de rozamiento en toda máquina. No se puede manipulear energía mecánica sin que aparezca una pequeña cantidad de energía térmica. Los cojinetes, las superficies móviles en contacto, etc., se calientan por rozamiento. En la práctica no se llama a esto transformación sino pérdidas, por lo que suele excluirse de la clasificación general de las transformaciones. Sin embargo es una transformación que se cumple según las leyes físicas conocidas. Otro caso es el de los refrigeradores a compresor, que transforman energía mecánica en térmica.

Transformación de energía eléctrica en mecánica

Es una operación inversa a la de generación de electricidad. En lugar de un generador eléctrico se utilizará un motor del mismo carácter. Con la electricidad se puede hacer girar un motor (ver Fig. 11), y con él se pueden accionar las más diversas máquinas, transformando una corriente eléctrica en un movimiento mecánico, que poseerá energía cinética.

Es innumerable la serie de formas que tendrá esa energía mecánica, pues no hay más

que citar algunas de las máquinas de un taller que se accionan con motores eléctricos, como los tornos, cepilladoras, limadoras, fresas, agujereadoras, esmeriladoras, sierras, cepilladoras, etc., para comprender que esta transformación de la energía, de eléctrica en mecánica, es la más usada, la más práctica y simple y la que debe dar mejor rendimiento; en efecto, así es y a ello debe su generalización.

No sólo mencionamos los talleres, industrias, etc. En el hogar también hay innumerables ejemplos de transformación de energía eléctrica en mecánica: los ventiladores, batidoras, lustradoras de piso, aspiradoras, etc. En las actividades que no sean de carácter industrial, escaleras mecánicas, pequeños vehículos accionados por electricidad, etc.

Es obvio insistir que este tipo de transformación de energía es el más variado, y que no se puede dar una descripción detallada, porque cada día puede aparecer un nuevo dispositivo basado en tal transformación.

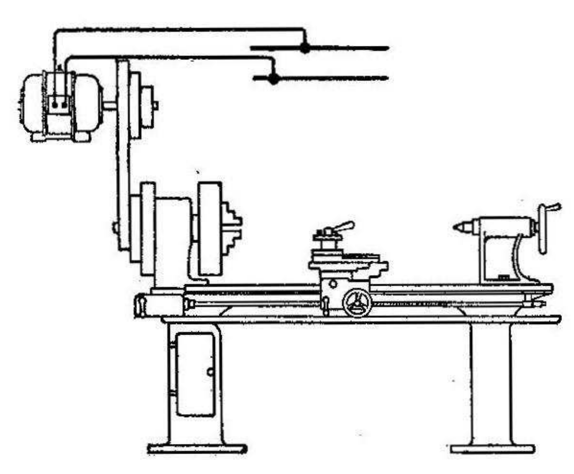


FIG 11. — Transformación de la energía eléctrica en mecánica.

Transformación de energía eléctrica en térmica

La corriente eléctrica, según sabemos, tiene la propiedad de producir calor directamente, con solo pasar por los conductores. De ahí que la producción de calor sea una operación tan simple. Hay muchas aplicaciones de esta transformación de energía, como los calentadores, cocinas, estufas, etc. En todas no hay más que dar vuelta una llave o apretar un botón para que dé comienzo o cese la transformación. No se puede pedir nada más simple (Fig. 12).

No terminan ahí los ejemplos de transformación de energía eléctrica en térmica. Hay otro más generalizado, que es el caso de las lámparas incandescentes de alumbrado. Lo que se

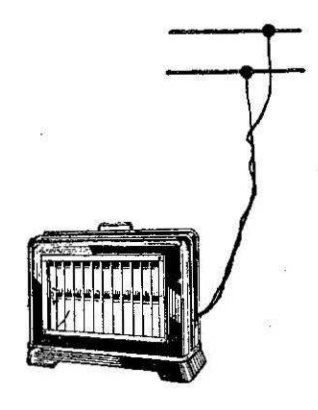


FIG. 12. — Transformación de la energía eléctrica en térmica.

busca en ellas no es calor, sino luz, pero al calentar el filamento de las mismas hasta el rojo blanco, dan luz, aunque también calor, y en proporción desoladora. Actualmente se transforma la energía eléctrica, parte en energía térmica y parte en luz, directamente, mediante nuevos sistemas de iluminación, como son los tubos de neón, de mercurio, fluorescentes, etc. Se podría hablar de transformación de energía eléctrica en lumínica, agregando una nueva serie a la clasificación que dimos al principio, pero no hay tal exclusividad; parte de la energía eléctrica se transforma en térmica, parte sigue siendo eléctrica pero con ligeros cambios de naturaleza, y finalmente aparece la luz.

Transformación de energía eléctrica en química

No hay gran variedad de casos, pero el más conocido es el de las baterías de acumuladores que tienen los automóviles. En ellas; la energía eléctrica se almacena o *acumula* bajo la forma de energía química, por un proceso que no corresponde tratar aquí y cuando se la quiere aprovechar en forma de energía eléctrica, tiene lugar la transformación inversa, es decir, *química en electricidad.*

Las pilas eléctricas son otro ejemplo de transformación inversa, porque no es posible la directa. Ciertas substancias químicas, puestas en contacto, generan electricidad (ver Fig. 13). En rigor, en todos los casos de transformación de energía química en eléctrica, tiene lugar una pequeña producción de calor, de modo que aparece una porción de energía térmica, que se considera como pérdida.

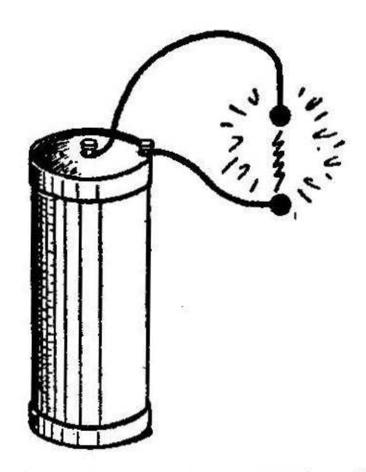


FIG. 13. — Transformación de la energía química en eléctrica.

Transformación de energía química en térmica

Hemos dicho que la energía está almacenada en los combustibles, en los explosivos, etc. Es de práctica corriente la utilización de tal energía almacenada (Fig. 14); cuando se calienta algo encendiendo el fuego, no se está haciendo otra cosa. La substancia empleada, carbón, petróleo, etc., sufre una transformación radical, de modo que no puede volver a ser utilizada con el mismo fin, ni ser sometida al proceso inverso, generalmente. Con las cenizas no se hace carbón, por ejemplo.

A veces se utiliza la transformación aludida para dar luz, como es el caso de las lámparas de petróleo, o de carburo de calcio. En ellas, la combustión produce una llama, es decir, calor, pero se aprovecha la luz que irradia para fines de iluminación, no interesando la energía térmica que inevitablemente se produce. Estamos frente a un caso similar al de las lámparas eléctricas de incandescencia; la principal transformación no es la que se utiliza, sino la secundaria. Ese estado de cosas, lógicamente, sigue hasta que se encuentra el hacer la transformación adecuada para no desperdiciar energía en forma tan notable.



FIG. 14. — Transformación de la energía química en térmica.

Transformación de energía química o térmica en mecánica.

Todos los motores de combustión interna, a petróleo, nafta, gas-oil (Fig. 15), así como ciertos motores de gas, realizan una transformación combinada de energía química en térmica y mecánica. En ellos, el combustible se quema, produciendo una gran cantidad de calor, pero al mismo tiempo se produce una gran presión, que provoca una expansión, y aquí aparece la energía mecánica. Esa expansión arrastra o empuja un émbolo, produciendo un movimiento mecánico.

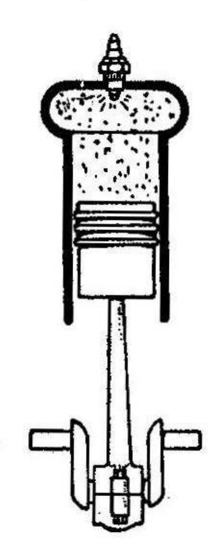


FIG. 15. — Transformación de la energía térmica en mecánica.

En el caso de los motores de combustión interna, toda la transformación compleja se realiza en el mismo lugar, que es el interior del cilindro. En el caso de las máquinas a vapor y en las turbinas térmicas, hay dos lugares y dos procesos: primero la transformación de energía química en térmica, en la caldera, donde se produce vapor; luego se lleva ese vapor a la máquina en sí, donde se lo expande aprovechando la fuerza de expansión en producir el movimiento deseado.

Día 3

Por estar esta obra dedicada al estudio de los motores térmicos, el conocimiento del calor y sus leyes es de importancia capital. Estos conocimientos se agrupan en la Termología, *y le dedicaremos esta segunda jornada. Tenemos ya fijados en nuestra mente los principios básicos de la Mecánica, especialmente aquellos que tendrán aplicación en el estudio de los motores y de igual manera debemos elegir ahora, dentro de la Termología, los principios más importantes y especialmente los que necesitaremos para comprender su aplicación en los motores térmicos.*

Intuitivamente sabemos que en un motor hay partes más calientes y partes más frías. Que esas partes más calientes deben enfriarse y que eso lo hacemos con una corriente de aire y con circulación de agua. Véase como ya aparece la necesidad de ocuparnos de la transmisión de calor, ya que no otra cosa es el enfriamiento de un cuerpo caliente usando un flúido más frío. También en este caso trataremos de eludir las pesadas matemáticas, para presentar los cálculos necesarios en la forma más simple que sea posible.

NOCIONES SOBRE TERMOLOGIA

La parte de la Física que estudia el calor, sus propiedades, efectos y transformaciones, se llama Termología. En ella se estudia la cantidad de calor que tiene un cuerpo, la que necesita para cambiar de estado físico, el nivel térmico de los objetos y del ambiente, los efectos físicos, químicos y mecánicos de calor, etc. Las aplicaciones del calor en la industria son tan vastas, que puede decirse prácticamente que no existe actividad técnica en la cual no intervenga, ya sea directamente o transformado en otra manifestación de la energía.

Tomaremos como principio fundamental que no puede concebirse la noción de ausencia absoluta de calor, que no puede existir un cuerpo sólido, liquido o gaseoso que no contenga aunque sea una mínima cantidad de calor en su masa. Lo que distinguimos por los términos frío y caliente son estados relativos, de acuerdo con nuestras sensaciones. Así, decimos que el hielo es frío, pero eso se debe a que su nivel térmico es inferior al de nuestro tacto, produciéndonos la sensación característica. El hielo tiene en sí una cierta cantidad de calor, indudablemente menor que si esa misma cantidad de hielo estuviera en estado líquido (agua), y menor aun que si estuviera en estado gaseoso (vapor). Pero tiene calor, porque para producir hielo hay que sacarle calor al agua, pero no todo; bastan unas 80 unidades térmicas por Kg, si está a la temperatura adecuada.

Observemos que se ha hablado de unidades térmicas, temperatura, quitar y poner calor, etc. Todos esos conceptos son de gran importancia en la Termología, de manera que comenzaremos por definirlos.

Temperatura

Si una cierta cantidad de calor, digamos unas 20 unidades térmicas, que definiremos más adelante, se entregan a un cuerpo, tal cuerpo se calentará. Pero si las entregamos a un cuerpo más pequeño, se calentará más aun, por tener menos masa. Ello se traduce en una sensación de que el segundo cuerpo estará más caliente que el primero, tendrá mayor temperatura. La temperatura puede definirse como el nivel o estado térmico de un cuerpo.

No se confunda cantidad de calor con temperatura, pues de intento hemos puesto el ejemplo de un cuerpo grande y otro chico que re-

cibían la misma cantidad de calor, y sin embargo el más pequeño alcanzaba una temperatura mayor. La temperatura indica solamente el nivel térmico del cuerpo, sin conocerse la cantidad de calor que posee almacenada en su masa. Claro que si dos cuerpos exactamente iguales, en forma, tamaño y substancia, tienen igual temperatura, podemos decir que tienen también iguales cantidades de calor.

Termómetros

Son aparatos o dispositivos que sirven para indicar la temperatura que tiene un cuerpo, la cual se mide en grados. Se habla de una cierta cantidad de grados, y hay varias escalas, según el país de origen. Tenemos así la escala Celcius o centígrada que es la que se usa en nuestro país, la escala Fahrenheit, la Reaumur, la Beaumé, etc. Las tres primeras son las que se usan aún actualmente, siendo más comunes la centígrada y la Fahrenheit.

A fin de establecer comparaciones entre las escalas, debe conocerse la manera cómo fueron fijadas. En general se tomaron dos temperaturas fijas que se pudieran reproducir con facilidad, y que son las que permiten trazar el resto de la escala comprendida entre ambas y fuera de esos límites.

Los límites elegidos en casi todos los casos, son el punto de ebullición del agua y el de fusión del hielo. La fijeza de tales temperaturas en las condiciones de presión atmosférica estipuladas (760 mm), permiten construir fácilmente termómetros de igual escala.

Un termómetro común está compuesto por un tubo cilíndrico de vidrio (Fig. 16) con un

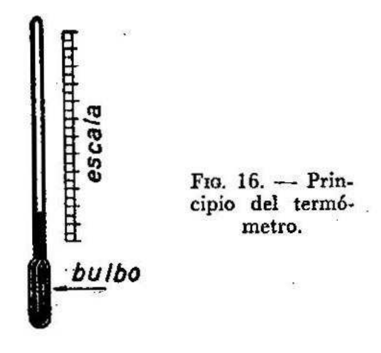


FIG. 16. — Principio del termómetro.

ensanchamiento inferior o bulbo, y conteniendo mercurio, toluol, etc., líquidos que tienen la propiedad de dilatarse con facilidad con el calor. Junto al tubo se coloca la escala, graduada entre los puntos extremos citados.

Para construir un termómetro, se coloca el líquido dejando abierta la extremidad superior del tubo. Calentando convenientemente el bulbo, el mercurio se vaporiza y expulsa al aire

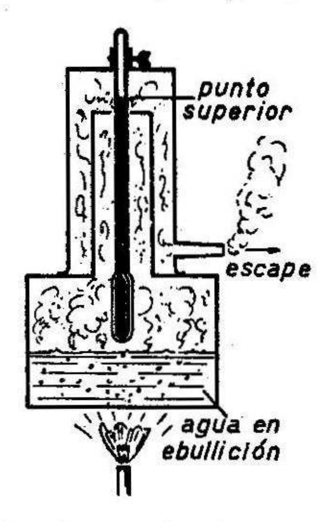


FIG. 17. — Determinación del punto 100°C.

contenido en el tubo, pudiéndose cerrar después el extremo. Luego se mantiene durante un rato una temperatura de 300°C y se deja enfriar.

Los puntos fijos de la escala o índice superior e inferior se determinan de la siguiente manera:

El punto fijo superior (ver Fig. 17) es el que corresponde al agua en ebullición, y se obtiene colocando el termómetro dentro de un recipiente de manera que reciba directamente los vapores de agua en ebullición. El recipiente puede tener la forma indicada en la figura, con un orificio de salida del vapor al costado y doble cámara de circulación, a fin de asegurar que no comience la condensación del vapor. El que circula por la camisa exterior ayuda a mantener fija la temperatura. Marcando el nivel a que llega el mercurio se tiene el punto superior de la escala, que se eligió igual a:

100° para la escala Centígrada
80° para la escala Reaumur
212° para la escala Fahrenheit

El punto fijo inferior es el que corresponde a la fusión del hielo, de modo que para determinarlo se sumerge el bulbo en una cubeta con hielo fundente (Fig. 18) y después de estabilizada la temperatura se marca el punto inferior de la escala. Ese punto en las distintas escalas vale:

0° en la escala Centígrada
0° en la escala Reaumur
32° en la escala Fahrenheit

De acuerdo con los puntos superiores e inferiores de las distintas escalas, se ve enseguida

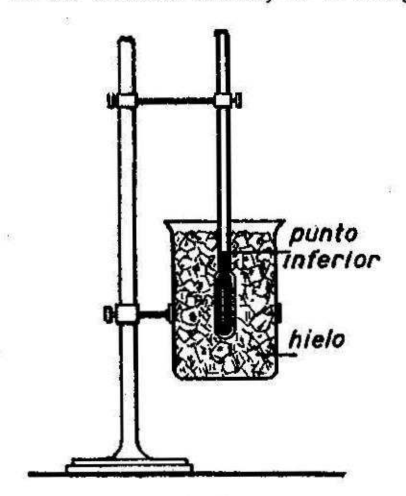


FIG. 18. — Determinación del punto 0°C.

que la cantidad de grados en que se ha dividido cada una de ellas es:

100° la Centígrada
80° la Reaumur
180° la Fahrenheit

Lo que permite establecer relaciones para calcular temperaturas que no estén expresadas en grados Centígrados (°C). Esas relaciones son:

Si se conoce una temperatura en grados Reaumur (°R), basta multiplicarla por 5 y dividirla por 4 para tener los grados Centígrados equivalentes.

Si se tiene una temperatura dada en grados Fahrenheit (°F), para pasar a grados Centígrados se le restan 32 y se multiplica ese resultado por 5 y se lo divide por 9.

Las escalas termométricas no terminan en los puntos límites, pues una vez que se tiene un grado, por división del total en el número de partes iguales que se citó más arriba, se pueden hacer escalas bajo cero y sobre 100, en la Centígrada y similarmente en las otras. La temperatura tal que no existe nada de calor en los cuerpos se llama *cero absoluto* y corresponde a —273°C o sea 273 grados bajo cero.

Partiendo de tal consideración, Lord Kelvin creó la escala que lleva su nombre, se llama *absoluta*, y tiene su punto cero a —273°C. Los grados de dicha escala son iguales a los centígrados, de modo que la temperatura absoluta de ebullición del agua es de 373°K (grados Kelvin).

Termómetros especiales

Los termómetros de bulbo son exactos, pero requieren un tarado y una construcción costosa, de modo que se han ideado tipos más económicos, metálicos, que se basan en la dilatación de los metales por el calor. Construyendo una espiral con dos metales adosados, de distinto coeficiente de dilatación, cuando se enfría se cerrará, produciendo un giro del eje, y cuando se calienta se abrirá, produciendo un giro en sentido contrario (Fig. 19). Por comparación con un termómetro de bulbo se marcan en una escala los grados correspondientes a posiciones diversas de la aguja. Son de fácil lectura y de construcción en serie, pues si las espirales son idénticas, también pueden serlo las escalas y sus graduaciones. Los hay en escalas, Centígradas, Fahrenheit y Reaumur.

Termómetros de máxima y mínima

Para registrar las temperaturas máximas o mínimas diarias o ambas a la vez, se hace uso del termómetro esquematizado en la figura 20, que es de alcohol y mercurio, este último empleado como auxiliar. El tubo es curvado hacia arriba y debajo, y apoyados en los dos meniscos

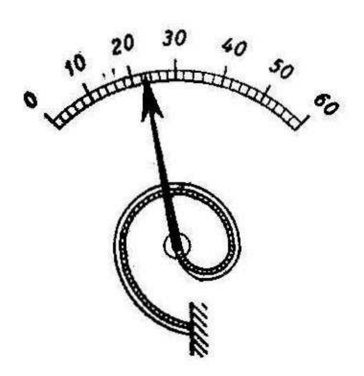


FIG. 19. — Principio del termómetro a espiral bimetálica.

del mercurio están los índices móviles, que son arrastrados por empuje, pero que al retroceso del mercurio quedan en su posición extrema por adherencia con las paredes del tubo.

Cuando sube la temperatura, el alcohol se dilata, empuja al mercurio y al índice de máxima hasta que llega la temperatura mayor del día. En este momento comienza el descenso de la columna mercurial de la derecha, pero comienza a contraerse el alcohol, pero el índice

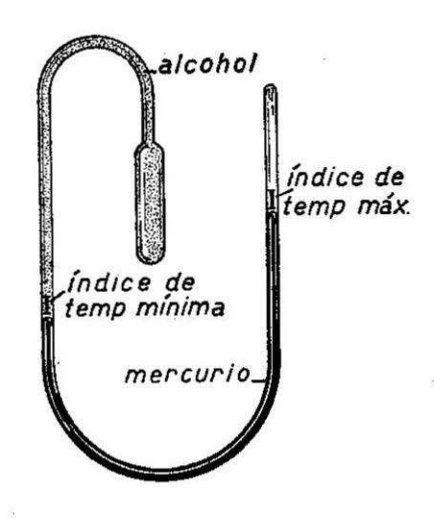


FIG. 20. — Termómetro de máxima y mínima.

queda adherido a las paredes del tubo y no baja, quedando marcando la temperatura máxima diaria.

Cuando baja la temperatura, el alcohol se contrae y la columna mercurial de la izquierda sube, empujando al índice hasta que se llega a la temperatura mínima del día, para la cual el índice alcanzó su posición más alta. Al comenzar a subir la temperatura el mercurio comienza a bajar, pero no el índice, que queda adherido a las paredes del tubo, indicando la mínima diaria.

Los índices se construyen de metal magnético, a fin de poderlos retirar de su lugar y volverlos a apoyar en la columna de mercurio al día siguiente, mediante un imán que se apoya en la pared del tubo y se lo hace deslizar, arrastrando al índice.

Calor contenido en los cuerpos

Conociendo el concepto de temperatura y pudiendo medirlo, pasaremos ahora a definir la cantidad de calor, cuya unidad es la *caloría.* Para tal fin imaginemos que queremos calentar agua, y tomemos un litro de la misma, elevando su temperatura en 1°C. La cantidad de calor que absorbió el agua es una caloría, llamándosela también una Kilocaloría, para diferenciarla de la gramocaloría, que se refiere a la cantidad de calor necesaria para elevar en 1°C un gramo de agua.

Una forma práctica de diferenciar la Kilocaloría de la gramocaloría es escribir con mayúscula la inicial de la primera y con minúscula la segunda. Así, *Caloría* es la cantidad de calor que hemos llamado Kilocaloría, y *caloría* es la gramocaloría. En la Técnica se emplean una u otra según las cifras a manejar, para evitar las cantidades incómodas. Más usual es la Caloría, y salvo especificación en contrario, nos referiremos siempre a ella.

Hemos dicho que la cantidad de calor se mide en Calorías, y que esa unidad corresponde a la necesaria para elevar en 1°C un litro de agua. Pero si tomamos otro cuerpo distinto, la cantidad de calor necesaria para aumentar su temperatura en 1°C será distinta a una Caloría, considerando que hay cuerpos que tienen mayor o menor capacidad calórica que el agua.

La forma de establecer comparaciones es fijando al agua como cuerpo básico, al que se le asigna una capacidad calorífica unitaria. De tal modo, un cuerpo que necesite mayor cantidad de calor por Kg y por °C que se desee elevar su temperatura, diremos que tiene una *capacidad calorífica* o *calor específico* mayor que el del agua. Si al agua le asignamos un calor específico igual a la unidad (uno), a dicho cuerpo le corresponderá un número mayor que uno. Viceversa, si un cuerpo necesita menor cantidad de calor para elevar en 1°C la temperatura de un Kg de substancia, su calor específico será menor que uno.

Podemos definir así al calor específico; como la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un Kg del cuerpo en 1°C. Para el agua esa cantidad de calor es una Caloría, de manera que el calor específico del agua vale uno.

Dilatación por efecto del calor

Todos los cuerpos aumentan de tamaño al calentarse, con la única excepción del agua, que entre 0°C y 4°C se contrae, al pasar de la primera temperatura a la segunda. El aumento de tamaño debido a la acción del calor se llama dilatación, y tiene características que dependen de la substancia.

Se distingue el caso de dilatación lineal y dilatación cúbica. La primera se estudia en el caso de las barras y cuerpos de gran longitud y reducida sección transversal. Para los demás ca-

sos se habla de dilatación cúbica, o sea del aumento de volumen por unidad o referido al total. La dilatación lineal se refiere al aumento de longitud.

Cada material tiene distintas características de dilatación, habiendo algunos notables por su gran variación de tamaño ante las variaciones de temperatura, y otros que se distinguen por la propiedad contraria, es decir, invariabilidad o insensibilidad a los efectos del calor. Como ejemplos típicos podemos citar al plomo como cuerpo extremadamente dilatable y al cuarzo como cuerpo insensible.

Para especificar los valores de la dilatación se utiliza un *coeficiente de dilatación,* que es el aumento relativo de la dimensión por °C. Así, el coeficiente de dilatación lineal de un cuerpo es el aumento de longitud, expresado en metros, que sufre una barra de 1 m de longitud cuando se aumenta su temperatura en 1°C. Del mismo modo, definiremos al coeficiente de dilatación cúbica, como el aumento de volumen expresado en m^3 que sufre un trozo de 1 m^3 de una substancia determinada cuando se aumenta su temperatura en 1°C.

Transmisión del calor

Los cuerpos en general tienen su estado térmico propio, determinado por la temperatura a que se encuentran, su masa y calor específico, según conceptos ya vistos. Pero cada cuerpo puede tener distinta cantidad de calor e igual temperatura, o, lo que es más general, las temperaturas serán todas distintas. También puede suceder que en un mismo cuerpo se tengan temperaturas diferentes en zonas cercanas o lejanas de su masa.

Basta que haya una pequeña diferencia de temperatura entre dos zonas de un cuerpo para que se establezca una transmisión de calor, desde la parte más caliente a la más fría, transmisión que sólo cesará cuando se han nivelado las temperaturas.

Pero no es necesario que las diferencias de temperaturas estén en el mismo cuerpo para que se produzca la transmisión, pues si colocamos dos cuerpos en contacto, o separados por un flúido, o alejados, siempre que uno de ellos esté a mayor temperatura que el otro, se producirá una transmisión del calor desde el primero hacia el segundo.

Se distinguen tres formas de realizarse la transmisión del calor: por *conducción,* por *convección* y por *radiación.* La transmisión por conducción se establece a través de la masa misma del cuerpo o de dos cuerpos en contacto íntimo. Así, si tomamos una barra (ver Fig. 21) y calentamos un extremo, elevaremos la temperatura en ese lugar, que se hará mayor que la del otro extremo y se iniciará una transmisión de calor hacia el extremo frío. Esto se puede comprobar fácilmente. El calor se propaga a lo largo de la barra en la dirección señalada por la flecha, y si se tocan varios puntos intermedios se notará que la temperatura va decreciendo hacia el extremo frío. Si dejamos de calentar la barra, lentamente se nivelará la temperatura en toda su masa.



Fig. 21. — Transmisión del calor por conducción.

La transmisión por convección se lleva a cabo por medio de los flúidos que rodean a los cuerpos, debida al movimiento de sus moléculas. Este movimiento se produce siempre, aunque esté en reposo, porque al calentarse las moléculas próximas a la superficie caliente, se desplazan alejándose, y moléculas frías ocupan su lugar. Supongamos un tubo o caño (ver Fig. 22), dentro del cual circula vapor de agua. Alrededor del caño hay aire en reposo; la temperatura del vapor es mayor que la del aire, lo que debe dar lugar a una transmisión de calor. Al circular el vapor caliente por el tubo, sus moléculas van rozando las paredes internas del mismo, lo que origina una transmisión del calor desde el vapor hacia las paredes del tubo, transmisión que, de acuerdo con lo visto, se cumple por convección. Cuando las paredes internas del tubo están a mayor temperatura que las externas, se transmite calor desde adentro hacia afuera, por conducción a través de la masa del caño. Pero una vez que las paredes externas del

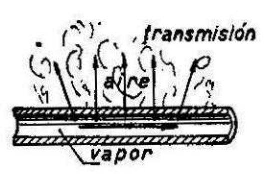


Fig. 22. — Transmisión del calor por convección.

tubo se calientan, comienzan a calentarse también las moléculas del aire en contacto con dichas paredes. Esas moléculas se separan del tubo y otras frías ocupan su lugar, calentándose a su vez, y así sucesivamente. El calor que proviene del vapor se transmite por convección a las paredes del tubo, por conducción, a través del mismo, y por convección nuevamente desde el tubo hacia afuera, mediante el aire que lo rodea. No es necesario que los flúidos interno y externo sean gases, pues el proceso se cumple idénticamente con líquidos, como es el caso de los refrigeradores y los precalentadores, en los que por una tubería circula líquido o vapor para calentar o enfriar al líquido que envuelve a la tubería.

La transmisión por radiación es un poco más compleja, pues en su explicación intervienen elementos de los nuevos conceptos de la Física,

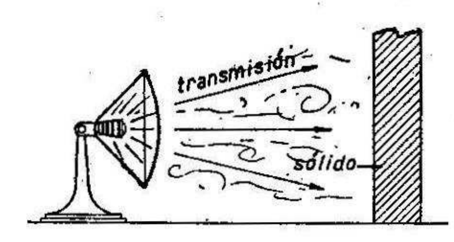


FIG. 23. — Transmisión del calor por radiación.

referentes a la estructura del calor y a la irradiación de energía. Pero simplemente, si imaginamos un cuerpo que está a elevada temperatura (ver Fig. 23), y cerca o lejos de él hay otro que está frío, el segundo recibe calor del primero, por radiación. No se piense que se debe tratar de una transmisión por convección a través del aire que hay entre los dos objetos, cosa que se cumple en pequeña escala, porque la mayor parte del calor se irradia. Para eliminar la posibilidad de confundir esta transmisión con la convección, piénsese en el calor del sol, que recibimos en nuestro planeta por radiación, exclusivamente. Si el calor solar se transmitiera por conducción o por convección, no habría gran diferencia de temperatura en lugares expuestos a sus rayos o a la sombra. Pero la temperatura menor que hay en los lugares a la sombra, se explica porque una vez que el aire está caliente, transmite por conducción y convección el calor al aire que no está expuesto a los rayos solares. Estos motivos han hecho que a las estufas (Fig. 23) se les dé forma de reflector, para aumentar la transmisión por radiación, pues esa forma no tendría influencia en la transmisión por conducción o por convección.

TERMODINAMICA

La Técnica utiliza los gases y vapores en diversas aplicaciones, o, extendiendo más la generalidad aludida, los flúidos, sean ellos líquidos o gaseosos. Encontramos las máquinas de vapor, los motores de gas, las turbinas de vapor o de agua, y una cantidad de máquinas, motores o mecanismos que emplean en su funcionamiento diversos flúidos en movimiento. El estudio particular de las condiciones en que se aprovechan las propiedades de los mismos constituye la Termodinámica.

Para que entre en la definición, ese flúido debe ser transformado, es decir, sufrir algún cambio en sus características. Es de importancia fundamental la temperatura, pues alrededor de ella están las demás características, ligadas siempre por relaciones más o menos conocidas.

Definiciones fundamentales

Para realizar un somero estudio de las transformaciones de los flúidos y del resultado que de ello puede obtenerse, deben conocerse las magnitudes que entran en juego. Así tenemos en primer lugar la temperatura, la presión y el volumen como magnitudes fundamentales, la energía, el calor y la entropía, como magnitudes o características derivadas. Fuera de estas magnitudes fundamentales, se encuentran otras que guardan con las antedichas relaciones o dependencias ocasionales.

La *temperatura* ya ha sido definida al principio del capítulo; sabemos que es la manifestación del nivel térmico del cuerpo, y que se mide en grados Centígrados, comúnmente, o en grados Kelvin, si se desea hablar de temperatura absoluta, referida a cantidades que sólo pueden ser positivas. Es decir que midiéndola en °C se pueden tener cantidades positivas (sobre cero) o negativas (bajo cero), pero si se le suman 273° a la temperatura centígrada, obtenemos la absoluta, que ya no puede ser negativa, pues el cero Kelvin es la mínima temperatura concebible.

La *presión* se define como la fuerza que actúa sobre la unidad de superficie. Si suponemos una placa horizontal, y sobre ella una pila de arena, de forma prismática, podemos definir la presión que actúa sobre la placa como el cociente entre el peso de toda la arena y la superficie de

la placa. Si la arena pesa 600 Kg y la placa tiene una superficie de 150 cm^2, la *presión* que actúa sobre ésta es de:

$$p = \frac{600}{150} = 4 \text{ Kg/cm}^2$$

Con lo dicho queda definida la presión y especificada la forma de calcularla, pues basta dividir la fuerza o peso total que actúa sobre una superficie por el valor de esa superficie, para obtener la presión.

El *volumen* ya es conocido, y referido a los flúidos puede tomarse en litros o en metros cúbicos, sabiéndose que entre una y otra unidad hay un factor 1.000, de acuerdo con la Geometría. En los gases y vapores el volumen es el del recipiente que los contiene, ya que se expanden permanentemente para ocupar el mayor espacio posible.

La *energía* que contiene el flúido, es su capacidad de producir trabajo, es decir que si tenemos vapor de agua, y de él podemos extraer trabajo, podemos accionar a una máquina; toda la cantidad de trabajo que se realice es equivalente a la energía que poseía el vapor. Después de utilizado habrá cambiado alguna o varias de sus características fundamentales, como veremos.

Siendo la energía un trabajo almacenado, se debe medir en su misma unidad, que sabemos es el Kilográmetro, resultado obtenido al multiplicar la fuerza en Kg por la distancia recorrida en metros.

El *calor* o cantidad de calor que contiene un flúido, similarmente a lo que se definió para los cuerpos en general, es la energía térmica disponible. Entre el calor y la energía debe haber una relación numérica, puesto que ambas magnitudes coinciden en su concepto. En los "Principios Fundamentales de la Termodinámica" se verá ese factor numérico de conversión.

La *entropía* es de más difícil concepción mecánica o física, pues se refiere a los cambios de estado de los flúidos, y relaciona la variación de la cantidad de calor con la temperatura absoluta. Con cierta reserva, puede decirse que la entropía está dada por el cociente entre la cantidad de calor y la temperatura absoluta:

$$E = \frac{Q}{T}$$

Donde E es la entropía, Q la cantidad de calor en Calorías y T la temperatura en °K. Tal relación se aplica a las variaciones o cambios (ciclos). Para aclarar su concepto diremos que si un flúido sufre transformaciones sin que se altere la cantidad de calor que contiene, ni su temperatura, la entropía permanece constante. Tal transformación se llama *adiabática*. Si sólo permanente constante la temperatura, se llama *isotérmica*. Si lo que permanece constante es la presión, la transformación toma el nombre de *isobárica*. También se encuentran las transformaciones a volumen constante, que se realizarán en recipientes cerrados, no elásticos. En todos los casos, las magnitudes que se modifican, lo hacen siguiendo leyes conocidas y guardando entre sí las relaciones fijas, de carácter lineal o no, según el caso. La Termodinámica estudia precisamente esas variaciones en particular y su aprovechamiento en la práctica, para producir o absorber trabajo útil. Todas las máquinas y motores térmicos emplean en su funcionamiento una o varias de las transformaciones definidas.

Principios fundamentales de la Termodinámica

Las dos leyes fundamentales se refieren a las transformaciones de calor en trabajo, expresando la primera la equivalencia de unidades y la segunda la posibilidad de tal transformación. El primer principio dice que hay una equivalencia numérica fija entre la cantidad de calor y el trabajo mecánico, y que vale:

1 Caloría = 427 Kilográmetros

Entendiéndose que se toma la Caloría como la cantidad de calor necesaria para elevar en 1°C la temperatura de 1 litro de agua. Tal cifra, 427, se llama equivalente mecánico del calor, y su inversa, equivalente térmico del trabajo (1/427).

El segundo principio dice que si un sistema de flúidos o cuerpos están a la misma temperatura, no se puede desarrollar trabajo sin la intervención de agentes externos. Quiere decir que para que se pueda desarrollar trabajo es necesario que haya disponible una diferencia de temperaturas. Este principio guarda una relación marcada con el enunciado de Clausius, que dice que no es posible que un cuerpo más frío entregue calor a otro más caliente, sin la intervención de un agente externo.

En resumen, puede realizarse un trabajo mecánico con la intervención de un flúido, pero es menester que se disponga de una temperatura mayor al comienzo de la operación, resultando una temperatura menor al final de la misma. Si extraemos trabajo, el cuerpo caliente

entrega calor al frío. Si en cambio gastamos trabajo, el cuerpo frío puede entregar calor al caliente. El primer caso es típico de los motores térmicos y el segundo de las máquinas frigoríficas, pues en aquellos se obtiene trabajo y en estas últimas hay que gastarlo.

Leyes para los gases perfectos

Hay tres leyes fundamentales que dan las relaciones entre las magnitudes fundamentales, volumen, presión y temperatura, y que son válidas para los gases perfectos. En la práctica estas leyes se aplican a los gases reales y a los vapores, pero con restricciones, para tener en cuenta su relativa inexactitud. Las tres leyes son la de Boyle-Mariotte, la de Gay-Lussac y la de Clapeyron. Para definirlas, imaginemos un recipiente cilíndrico (Fig. 24) con un émbolo que pre-

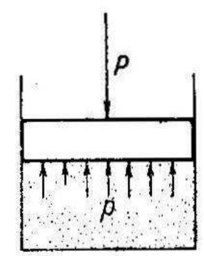


FIG. 24. — Dispositivo para definir las leyes de los gases.

siona sobre un gas contenido en aquel. Sobre el pistón hay un peso *P* que provoca una presión dada por el cociente entre *P* y la superficie de la cara inferior del pistón, de acuerdo con la definición de presión. Llamemos p a esa presión y coloquemos 1 Kg de gas dentro del cilindro, de modo que el volumen que ocupe será lo que se define por *volumen específico* o volumen de la unidad de peso. La temperatura del gas la mediremos en °K, es decir, consideraremos la temperatura absoluta (igual a la centígrada, sumándole 273°).

Resumiendo, p es la presión que ejerce el gas sobre el cilindro o el émbolo sobre el gas, y se mide en Kg/cm^2 para ciertas aplicaciones, y en Kg/m^2 para otras aplicaciones. En este caso la tomaremos en Kg/m^2. Al volumen específico, o volumen que nos ocupa un Kg de gas, lo llamamos v, medido en m^3. Y la temperatura absoluta, o cantidad de grados Kelvin, la designamos T. Con estas magnitudes definiremos las tres leyes mencionadas.

La ley de *Boyle-Mariotte* dice que a temperatura constante, las presiones son inversamente proporcionales a los volúmenes específicos. Quiere decir que si ejercemos una presión p_1 el gas ocupará un volumen v_1, y que si cambiamos la presión a otra p_2, el volumen cambiará a otro v_2, y entre esas magnitudes se cumple la siguiente proporción:

$$p_1 \times v_1 = p_2 \times v_2$$

Es decir, que a mayor presión menor volumen y viceversa, pero siguiendo una proporción aritmética.

Esta ley puede expresarse también en otra forma, con sólo suponer que se parte de una presión y volumen unitarios. En efecto, si en la expresión anterior resulta que una de las presiones y su correspondiente volumen lo tomamos como referencia se obtiene:

$$p \times v = \text{constante}$$

Aclarando que estas relaciones y proporciones son válidas si la temperatura se mantiene constante, pues tal es la condición de validez de la ley de Boyle-Mariotte.

La ley de *Gay-Lussac* dice que a presión constante, las temperaturas absolutas son proporcionales a los volúmenes específicos. Para visualizar esto, imaginemos que colocamos un peso sobre el pistón, y le dejamos libre juego. Cualquiera que sea el volumen del gas, el peso subirá o bajará, pero la presión se mantendrá constante, de acuerdo con la definición de presión.

Calentando o enfriando el gas variará su volumen, en forma proporcional, y si tenemos que a una temperatura T_1 el volumen específico es v_1 y a una temperatura T_2 el volumen es v_2, entre esas cantidades se cumple la siguiente proporción directa:

$$T_1 \times v_2 = T_2 \times v_1$$

Ecuación válida para los casos en que la presión se mantenga constante. Los volúmenes son específicos, es decir, de 1 Kg de gas, pero en nuestro ejemplo se cumple tal condición porque colocamos un Kg de gas en el cilindro. En la práctica se refiere al volumen total tomando el peso total y haciendo el cociente respectivo del primero por el segundo, resultando siempre m^3/Kg. Las temperaturas absolutas se obtienen sumando 273° a la temperatura centígrada.

La ley de *Clapeyron* se refiere a los cambios de estado, y contiene todas las magnitudes fundamentales, resumiendo, además, las dos leyes anteriores. Se la expresa en la siguiente forma:

$$p \times v = R \times T$$

Donde p es la presión del gas perfecto, v su

volumen específico, y T la temperatura absoluta. R es una constante, llamada constante universal de los gases, y sus valores para los casos corrientes están dados en las tablas de características de gases y vapores.

La ley de Clapeyron contempla todas las transformaciones, cualquiera que sea la magnitud variable, tiene aplicación en los gases perfectos, y con restricciones se la emplea en los casos reales más comunes.

Cambios de estado de gases y vapores

Hemos dicho al principio del párrafo de Termodinámica que había cuatro cambios de estado típicos, que llamamos transformaciones de los gases. Esos cuatro cambios eran: a entropía constante, a temperatura constante, a presión constante y a volumen constante. De acuerdo con las leyes de la Termodinámica, sabemos en qué condiciones se realizan esos cambios de estado. Veamos las representaciones gráficas de tales cuatro casos particulares.

Para hacer representaciones gráficas se toma un par de ejes perpendiculares entre sí. El horizontal se llama *eje de abscisas* y el vertical *eje de ordenadas*. Todas las medidas que se toman horizontalmente son *abscisas* y todas las medidas que se toman verticalmente son *ordenadas*. Los ejes así vinculados se llaman *ejes coordenados* (ver Fig. 25).

En la Técnica es más común utilizar el diagrama coordenado para representar magnitudes variables. Así supongamos que se desee representar gráficamente la variación de la temperatura durante el día. Tomamos dos ejes perpendiculares, y mediremos sobre las abscisas las horas y sobre las ordenadas las temperaturas (ver Fig. 26).

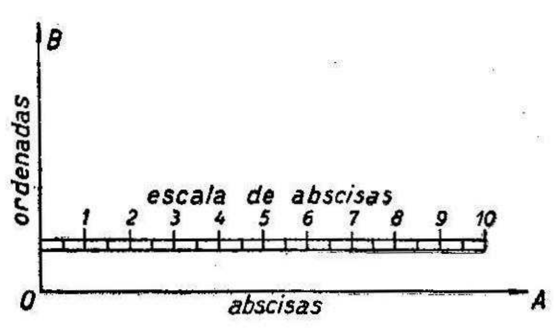


FIG. 25. — Ejes coordenados para representaciones gráficas.

Marcamos en una escala cualquiera las 24 horas del día, sobre el eje horizontal (abscisas); marcamos los grados de temperatura desde cero hasta 20 sobre el eje vertical (ordenadas), suponiendo que no se ha tenido mayor temperatura en ningún momento. Se verá que se han marcado cada dos grados una raya, pues no es obligatorio el marcar una división cada unidad, pudiendo tomarse una, dos, 10 ó cualquier cantidad de unidades por división. A las 0 horas había 10°C, luego marcamos en la vertical de 0 horas 10 unidades hacia arriba. Para los demás puntos conviene hacer un cuadriculado, o utilizar un papel que ya lo tenga hecho. A la 1 hora había 9°C, luego debemos tomar ese punto en la mitad de la división comprendida entre 9°C y 10°C. Así se marcan las demás temperaturas del día, uniendo finalmente todos los puntos con una curva o con trazos rectos, según se ve en la figura. El diagrama obtenido puede llamarse: *gráfico de las temperaturas diarias.*

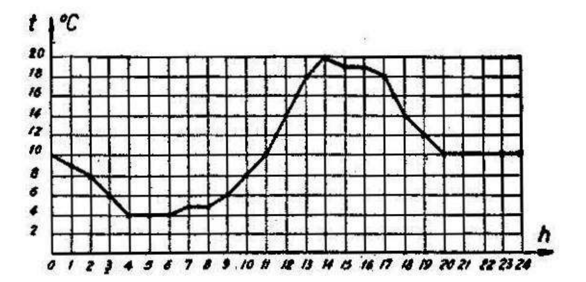


FIG. 26. — Representación gráfica de una magnitud variable cualquiera, como ser la temperatura diaria.

En la forma descripta puede representarse cualquier magnitud que varía en función de otra, como ser rendimiento o cualquier otra característica de las máquinas, haciendo variar el consumo u otra cosa, y una serie de magnitudes características, que varían al regular o modificar otras relacionadas con ellas.

Para poder representar una magnitud en un gráfico, es menester adoptar una escala, es decir, una equivalencia entre unidades de esa magnitud y unidades de medida de longitud. Dicho en otras palabras, se adoptará una equivalencia entre un centímetro en el gráfico, y una cantidad fijada de esa magnitud a representar. Por ejemplo, diremos que un centímetro equivale a dos horas, en el gráfico de temperatura diaria. En la figura 25 se ha dibujado una escala gráfica junto al eje de abscisas, suponiendo que la magnitud que será tomada en ese eje tenga diez unidades. Del mismo tipo sería la escala si se tratara de otro número de unidades. Para el eje de ordenadas procedemos en la misma forma, tomando una escala.

Una vez hecho el gráfico, para interpretar una lectura, se mide la cantidad de centímetros, y se determina la magnitud haciendo la operación inversa que se hizo al dibujar. Así, para trazar el gráfico de temperaturas, por ejemplo, se dividía la cantidad de horas por dos, para tener centímetros, puesto que dijimos que 1 cm equivalía a dos horas. Para leer en el gráfico una cantidad de horas, se mide la longitud en centímetros y se multiplica por 2 para tener las horas.

Volvamos ahora a nuestro tema que era la representación gráfica de los cuatro casos de cambios de estado de gases y vapores. Para trazar estos gráficos usaremos ejes coordenados, en la forma descripta.

En primer lugar, consideremos el cambio a presión constante, o transformación *isobárica.* Si trazamos un diagrama de presiones en función de los volúmenes, lo que se llama *gráfico de compresión o expansión,* tendremos dos ejes de coordenadas según figura 27. En el eje horizontal se toman en escala los volúmenes específicos del gas o vapor, y en el eje vertical tomaremos las presiones. Estamos frente a una transformación del gas que no sufre variación de presión, luego el gráfico debe dar una recta paralela al eje horizontal, para que la presión *p* tenga siempre el mismo valor. Los cambios de volumen se realizan por variación de la temperatura, siguiendo la ley de Gay-Lussac. Como en el gráfico no aparecen las temperaturas, no hay variación alguna a representar que no sea el volumen que cambia según una ley lineal, o sea en línea recta. La expansión o compresión se hace calentando o enfriando el gas sin variar la presión.

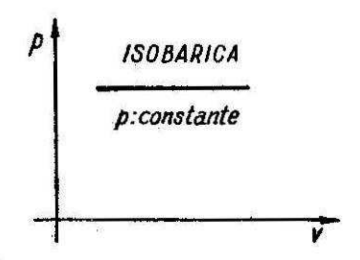


Fig. 27. — Cambios de volumen a presión constante.

Supongamos ahora que tenemos un recipiente de volumen invariable, y calentamos o enfriamos el gas contenido en él. No habrá variación de volumen pero sí de presiones, según la ley de Clapeyron. Calentando el gas se elevará la presión y enfriándolo se reducirá. El volumen permanece invariable, pues se trata de una transformación a *volumen constante.* La representación gráfica de tal cambio de estado en el diagrama de presiones y volúmenes debe ser una recta vertical (Fig. 28), puesto que *v* se mantiene constante.

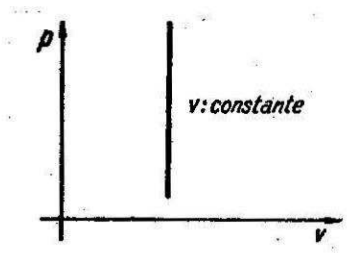


Fig. 28. — Cambios de presión a volumen constante.

Veamos ahora cómo se producen las variaciones a temperatura constante, o *isotermas.* Para ello hacemos variar el volumen del gas, por ejemplo, empleando el dispositivo de la figura 24, y si se hace mantener la temperatura mediante enfriamiento o calentamiento, según el caso, se producirá una variación proporcional de la presión, siguiendo la ley de Boyle-Mariotte y la de Gay-Lussac. En cualquiera de ellas se ve que el producto de la presión por el volumen específico es constante si la temperatura no se altera. La representación gráfica de esta transformación es una curva que se llama *hipérbola equilátera,* como se ve en al figura 29. Haciendo el producto de la abscisa por la ordenada para cualquier punto de la curva, da el mismo valor. Quiere decir que la isoterma representada gráficamente da una hipérbola como la ilustrada.

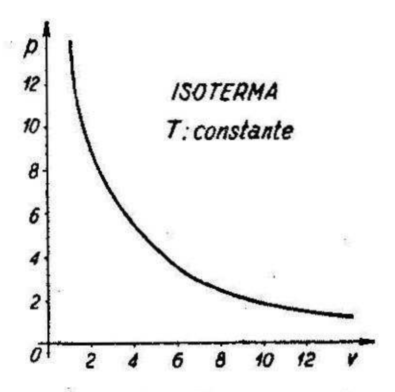


Fig. 29. — Cambios de volúmenes y presiones a temperatura constante.

Consideremos finalmente el caso de una transformación que se realice sin intercambio de calor con el exterior, esto es, sin tomar ni ce-

der calor al medio que rodea el recipiente que contiene el gas o vapor. Sabemos que tal transformación se llama *adiabática*, o a entropía constante, porque al no haber variación de la cantidad total de calor contenida en el gas, la expresión de la entropía no se altera en su valor.

Las curvas de entropía constante resultan un poco más complejas que las tres anteriores, pues resulta el volumen específico elevado a un exponente fraccionario. Sin entrar en el análisis matemático veamos el gráfico.

Tomando los ejes de coordenadas con la presión y el volumen específico, y dando valores a ambas cantidades resultan curvas como la de la figura 30, que guardan cierta similitud con las isotermas, pero son menos inclinadas. Las adiabáticas tienen esta característica, es decir, las variaciones de presión son menos importantes que las de volumen.

En el estudio del funcionamiento de las máquinas térmicas, compresores, etc., se utilizan los diagramas de transformación ya vistos, resultando que en cada máquina se produce una serie de variaciones, dando siempre una figura cerrada que se llama ciclo. Por ejemplo, en los motores de gas, el ciclo está formado por dos

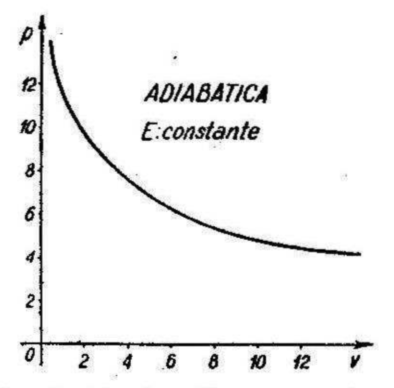


Fig. 30. — Cambios de volúmenes y presiones a entropía constante.

adiabáticas y dos líneas de volumen constante. En el estudio de motores térmicos volveremos sobre este tema.

Día 4

El breve estudio de Termología que hicimos el día anterior nos ha permitido familiarizarnos con algunos conceptos básicos sobre volumen, temperaturas y presiones de los gases y vapores. Esos conocimientos nos serán de mucha utilidad en el estudio de los motores a vapor, también llamados máquinas de vapor. Podría pensarse que en la actualidad este tipo de motores ha caído en desuso, pero existen muchos todavía y además suministran los principios básicos para otros tipos más modernos.

Pero antes de entrar en el funcionamiento propiamente dicho de los motores a vapor debemos disponer del vapor de agua, partiendo de agua y combustible, es decir, generarlo. En esta jornada nos ocuparemos, entonces, de las calderas y sus accesorios. Una vez que tenemos el flúido motriz que accionará el motor, entraremos en el funcionamiento de éste. Como resultado adicional del estudio que realizaremos, puede mencionarse el conocimiento sobre producción de vapor para otros fines que el de alimentar motores, como ser calefacción, secadores, etc.

GENERADOR DE VAPOR

En el capítulo 3 se han estudiado las propiedades generales de los gases, sus cambios de estado, las leyes y principios que rigen dichos cambios y la forma como varían las características de un gas cuando se modifica una de sus magnitudes. En la práctica interesa conocer especialmente el comportamiento del vapor de agua, por la vastedad de sus aplicaciones y su costo reducido. Para ciertas condiciones de trabajo, los vapores pueden encuadrar dentro de las características de los gases perfectos, con las restricciones que el caso imponga.

Nos detendremos en el detalle de la descripción del comportamiento del vapor de agua, para poder entrar después en una somera revisión del funcionamiento de las máquinas de vapor. El estudio detallado de las mismas llevaría a un tratado especializado.

El vapor de agua

Calentando un líquido, se llega a la temperatura de evaporación o vaporización y comienza a formarse el estado gaseoso. En particular, calentando agua a 100°C, aproximadamente, se forman vapores blanquecinos que son una mezcla de gas y líquido. El líquido es arrastrado por el gas y forma con él un todo más o menos homogéneo, que le impone la coloración característica.

Si tomamos la unidad de volumen de vapor de agua, o más comúnmente, un Kilogramo de vapor, observaremos que en él hay una cierta cantidad de agua en estado gaseoso, cantidad que se llama *título* del vapor, y el resto es agua en estado líquido, lo que toma el nombre de *humedad específica* del vapor. El título y la humedad específica se pueden expresar en %, teniéndose, por ejemplo, un título de 70 %, con lo que la humedad específica será de 30 %.

Bajo las condiciones señaladas, la temperatura a que se produce la vaporización está estrechamente ligada a la presión del vapor, presión que se llama: *de saturación*. Comprimiendo vapor, se produce una condensación, formándose agua nuevamente, sin que se alteren la temperatura y la presión mientras dura el proceso. Para cada presión del vapor hay una temperatura que le corresponde, y ambas magnitudes son perfectamente conocidas, dándose en tablas. Una vez que todo el vapor se ha convertido en agua, puede variar la temperatura. En resumen, el estado de saturación es aquel en el cual la cantidad de vapor que se forma depende del volumen disponible, pues las otras dos magnitudes, presión y temperatura, están vinculadas entre

sí. El vapor producido en esas condiciones se llama *saturado,* y al ser comprimido se licúa parte de él, y al producirse una expansión se forma más vapor. Hay un verdadero estado de equilibrio entre el líquido y el vapor.

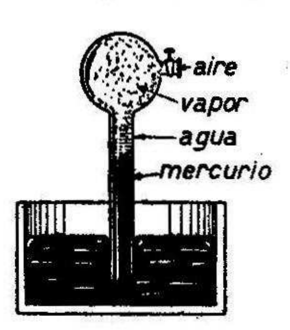


FIG. 31. — Dispositivo para comprobar las propiedades de un vapor.

Para poner en evidencia los conceptos anteriores, imaginemos un aparato de la forma que se ve en la figura 31. Una cubeta con mercurio, en la cual se introduce un tubo con su extremo superior ensanchado. El mercurio ocupa un cierto nivel en el interior del tubo. Sobre el mercurio hay una cierta cantidad de líquido (agua, éter, alcohol, etc.) Conviene realizar la experiencia con éter. El conjunto se halla a la temperatura del ambiente, que supondremos invariable. Si extraemos el aire del bulbo mediante una máquina neumática, se producirá inmediatamente la vaporización del líquido, convirtiéndose una parte bien definida de él en vapor. Se produce un estado de equilibrio, entre la presión, temperatura y volumen, pues parte del

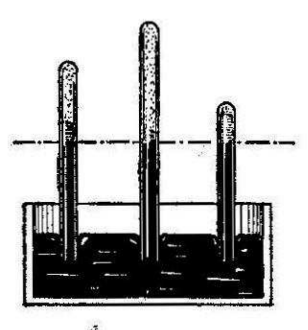


FIG. 32. — Al disminuir el volumen del vapor, parte de éste se licúa.

líquido se ha convertido en vapor, y la presión de éste impide la formación de nuevos vapores. Este vapor se dice que está *saturado.*

Veamos qué pasa si varía el volumen del recipiente disponible para contener al vapor. Como se ha dicho que si no varía la temperatura no puede variar la presión del vapor saturado, al disminuir el volumen debe licuarse parte del vapor, y al aumentar el volumen debe vaporizarse parte del líquido. Esto se pone en evidencia con el dispositivo de la figura 32. Un tubo conteniendo mercurio, sobre éste apoya el líquido de la experiencia anterior, y el resto del tubo contiene vapores de ese mismo líquido. Si subimos el tubo, veremos reducirse la cantidad de líquido, porque parte de él se ha convertido en vapor. Si bajamos el tubo, introduciéndolo en la cubeta, veremos aumentar la cantidad de líquido que hay en el tubo, porque parte del vapor se licúa, debido a que no puede destruirse el equilibrio entre el vapor saturado y el líquido, no variando en esta operación ni la presión ni la temperatura del vapor

Si el vapor de agua se halla próximo al estado de saturación, pero sin llegar a él, se dice que es *recalentado,* y en tales condiciones se usa frecuentemente en la práctica.

Características del vapor de agua saturado

Temperatura °C	*Presión* Kg/cm²	*Peso específico* Kg/m³
10	0,0125	0,0094
20	0,0236	0,0172
30	0,0429	0,030
40	0,0747	0,051
50	0,125	0,082
60	0,202	0,130
70	0,317	0,198
80	0,482	0,293
90	0,714	0,424
100	1,033	0,600
110	1,462	0,828
120	2,027	1,124
130	2,760	1,500
140	3,695	1,972
150	4,868	2,553
160	6,323	3,262
170	8,104	4,117
180	10,258	5,140
190	12,835	6,348
200	15,900	7,763

PRODUCCION DE VAPOR DE AGUA

Para los usos a que se destina el vapor de agua en la Técnica, como ser las máquinas a vapor, alternativas o turbinas, los sistemas de calefacción, etc., hay que producirlo en gran escala. Los aparatos que producen vapor se llaman *calderas,* y se pueden distinguir cuatro

clases fundamentalmente distintas, cada una de las cuales tiene, a su vez, una serie de derivados, que guardan similitud constructiva con el modelo original. Tenemos así las calderas de hogar interno, las de hervidores, las de tubos de fuego y las acuotubulares.

La caldera en sí es un recipiente que contiene agua hasta cierto nivel, y que es calentada mediante la acción de un combustible que se quema. En el resto de su contenido hay vapor de agua, que se dirige por una tubería al lugar de utilización. El lugar donde se quema el combustible se llama *hogar*, y particularmente, si se emplea combustible sólido, éste se coloca sobre una *parrilla*, a fin de que tenga acceso el aire por debajo y se produzca la combustión en condiciones favorables.

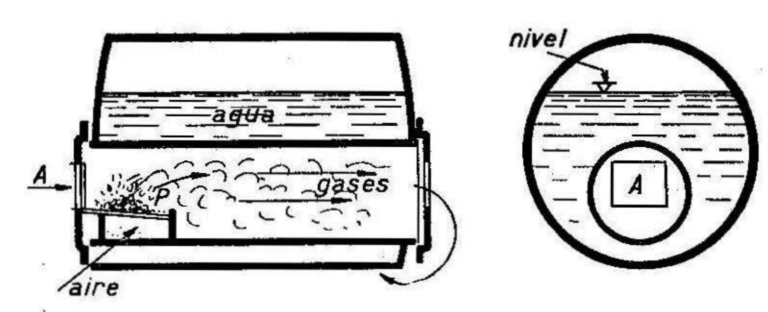


Fig. 33. — Dos cortes del tipo de caldera de hogar interno.

El aire y los gases producidos en la combustión adquieren una temperatura elevada, se los hace circular por lugares que estén en contacto con la parte de la caldera que se llama *superficie de calefacción*. Aquí dejan gran parte del calor que llevan consigo, produciéndose la vaporización del agua. El resto del calor de los gases queda en ellos, y se pierde en el escape, que se hace generalmente por una *chimenea*. Hay veces en que se aprovecha parte del calor de escape para precalentar el agua antes de ser introducida en la caldera, lo que se realiza en aparatos llamados *precalentadores* o *economizadores*

Calderas de hogar interno

Veamos el aspecto y modo de funcionar de los tipos fundamentales de calderas empleadas en la industria. El tipo de hogar interno se ilustra esquemáticamente en la figura 33. La caldera es un recipiente cilíndrico, dentro del cual hay otro cilindro menor, que contiene la parrilla *P*, y la puerta de entrada de combustible *A*. El aire debe tener libre acceso desde la parte inferior de la parrilla, y debe poder ser regulado, para lo cual se emplean compuertas de paso. Un exceso de aire produce una combustión incorrecta, lo mismo que una cantidad menor que la normal. Todo ello se nota perfectamente en los gases de la chimenea, que son el índice evidente de la forma como se realiza la combustión.

Los gases de la combustión, calientes, recorren el cilindro interno, permaneciendo durante su recorrido en contacto con las paredes de la caldera que rodean a dicho cilindro, es decir, con la parte central de la caldera. Llegados al otro extremo circulan por la parte exterior, con lo que la superficie de calefacción se encuentra aumentada notablemente.

Un detalle muy importante en las calderas es el nivel de agua. Si es excesivo, la presión del vapor se hace muy grande, y se reduce notablemente la producción horaria. Si es escaso, aumenta excesivamente la temperatura del interior de la caldera, disminuye el rendimiento de la instalación por desperdicio de calor, y se corre el riesgo de consumir toda el agua del interior de la caldera; en este caso, al entrar agua nueva caería sobre la chapa que se ha puesto incandescente, produciéndose la vaporización instantánea con un aumento de presión tan notable que es causa de explosión. Por tales motivos se debe cuidar el nivel del agua, lo que se hace mediante los niveles, que serán descriptos más adelante.

Este tipo de caldera es típico para usos en los cuales se requiere una producción reducida de vapor, teniendo la ventaja de ocupar poco espacio, facilidad de limpieza, accesibilidad y bajo costo. Para instalaciones más grandes tiene el inconveniente de tener poca superficie de calefacción en relación al tamaño de la caldera.

Calderas de hervidores

Pertenece al tipo de hogar externo, con el aspecto que se ve en la figura 34. La caldera es también de forma cilíndrica, y está comunicada con dos cuerpos cilíndricos de menor diámetro, que se llaman *hervidores*. La parrilla está debajo de ellos, y el aire tiene libre acceso por la parte inferior. Sobre la parrilla se coloca el combustible si es sólido, pues en caso contrario la parrilla se substituye por un inyector de combustible líquido.

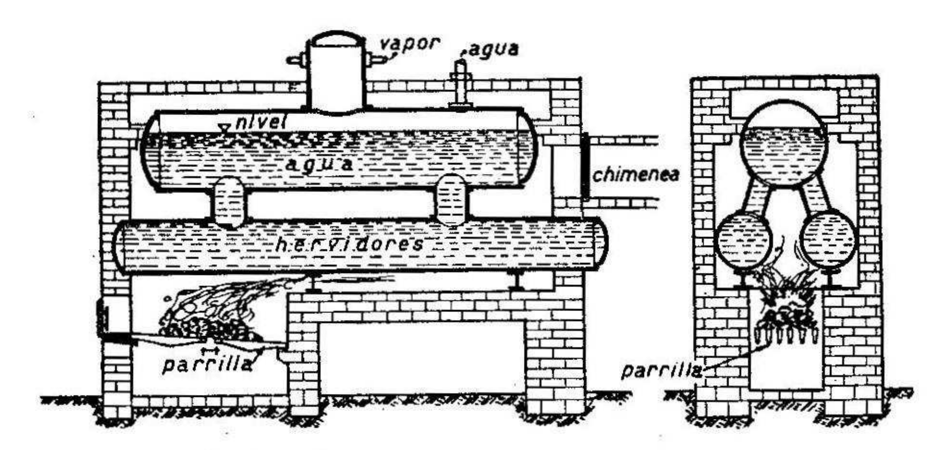


Fig. 34. — Dos cortes del tipo de caldera de hervidores.

Los gases de la combustión están obligados a circular por los costados de los hervidores en todo su largo, llegando finalmente a la chimenea que está en el otro extremo. El agua de los hervidores entra en fuerte ebullición y se produce vapor, que sube hasta llegar a la tubería de salida de vapor, que está en la parte superior. A medida que el vapor va subiendo, el agua de la caldera, precalentada por el vapor mismo, baja a los hervidores, entrando rápidamente en ebullición.

La superficie de calefacción de estas calderas es mayor que las de hogar interno, pero aún es chica para instalaciones de importancia. Además, tiene el inconveniente que es común al tipo de hogar interno, que se necesita mucho tiempo para poner en marcha al conjunto, pues debe calentarse una gran cantidad de agua para que dé comienzo la producción de vapor. Ello se debe a que la cantidad de agua en relación a la superficie de calefacción es muy grande. Para instalaciones industriales fijas este inconveniente puede no ser importante, por lo que se emplea mucho la caldera de hogar interno y la de hervidores, por la simplicidad de funcionamiento y su costo relativamente bajo. En instalaciones móviles (locomotoras, barcos, etc.) no se usan ninguno de estos dos tipos, siendo substituídas por los dos siguientes.

Calderas de tubos de fuego

La figura 35 muestra una caldera de este tipo, en forma esquemática. La caldera en sí es de forma cilíndrica, pero está provista de una serie de tubos horizontales que tienen la dirección del eje. En un extremo se ubica el hogar, con la parrilla *P*, la puerta de alimentación de combustible *A*, y la entrada de aire. Los gases calientes que se producen en la combustión están obligados a circular por lo tubos, y al llegar al otro extremo de los mismos van a la chimenea, saliendo al exterior.

Habiendo muchos tubos, la superficie de calefacción está notablemente aumentada, por lo que en menor tiempo se puede iniciar la operación. Se consigue así una superficie de calefacción grande con respecto al volumen de la caldera. Pero tiene en su contra la dificultad de limpieza de las incrustaciones en los tubos, y la facilidad con que éstos se queman al quedar alguno sin agua, por diversas causas. Sería el caso de que aumente la presión y el vapor expulse el agua de algunos tubos, o que baje el nivel del agua, etc.

Este tipo de calderas se emplean preferencialmente en locomotoras y máquinas similares, por sus ventajas de tamaño con respecto a la potencia y la rapidez con que se puede poner en marcha.

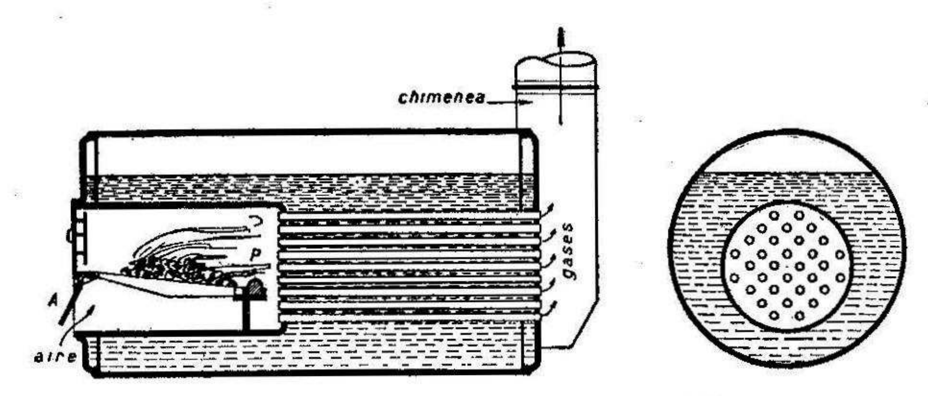


FIG. 35. — Dos cortes del tipo de caldera a tubos de fuego.

Calderas acuotubulares

Es un tipo más perfecto y más moderno de calderas. Si recordamos la caldera de hervidores, y pensamos la ventaja de aumentar el número de los mismos, comprenderemos cuál es la razón de haber adoptado la caldera acuotubular en todas las instalaciones de importancia, aun en las instalaciones móviles, como es el caso de los barcos.

La figura 36 muestra esquemáticamente una caldera de este tipo. Tiene una serie de tubos unidos en sus dos extremos por dos depósitos cerrados, los que se comunican con la caldera superior, de forma cilíndrica. El hogar, con su parrilla si se trata de combustible sólido, o su quemador o inyector si se emplea líquido, está debajo de los tubos, y mediante una serie de tabiques se obliga a los gases a circular por entre los tubos atravesando varias veces el paquete.

La primera ventaja de estas calderas es que

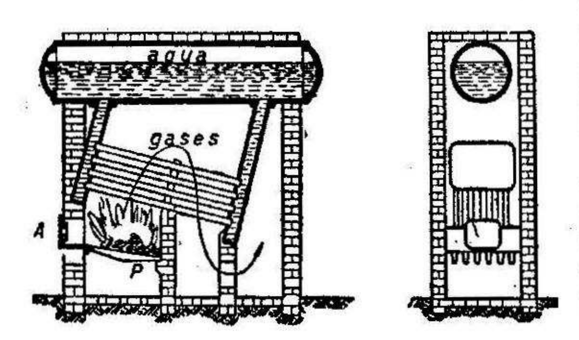


FIG. 36. — Caldera acuotubular.

hay muy poca cantidad de agua en los tubos, pero la producción de vapor es muy grande, pues la superficie de calefacción también lo es. El agua desciende desde la caldera hasta la parte más baja de los tubos, en éstos se produce la vaporización y el vapor sube por los mismos, pasa por el recipiente del otro extremo y sube a la caldera, saliendo por los conductos destinados a llevarlo al lugar de utilización. La parri-

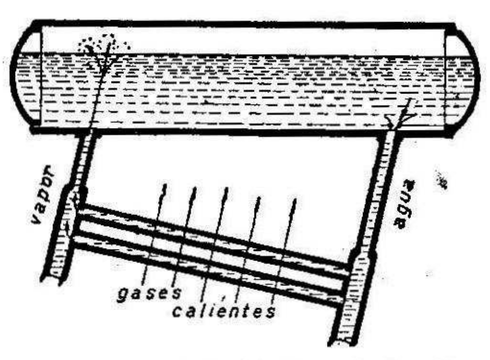


FIG. 37. — Detalle de la conexión entre la caldera y los tubos.

lla *P* queda frente a la puerta de alimentación de combustible, *A*. Este tipo de caldera tiene la ventaja adicional de la rapidez con que se pone en marcha, pues hay que calentar muy poca cantidad de agua para que empiece la producción de vapor.

La figura 37 da un detalle de la conexión entre la caldera, los tubos y sus depósitos extremos. Entre todos los tipos de calderas, ésta es posiblemente la más costosa, pero en cambio es la que maneja menor cantidad de agua para una producción horaria de vapor dada.

Accesorios de calderas

Las instalaciones de producción de vapor requieren una cantidad de implementos para el funcionamiento o para mejorar sus condiciones y rendimiento. Las calderas en si tienen varios dispositivos indispensables para funcionar, y otros que se emplean para facilitar las manio-

bras de puesta en marcha, regulación, etc. Las instalaciones emplean otros dispositivos para mejorar la eficacia de la operación, y en conjunto, lo que se busca siempre es producir el máximo de vapor con un mínimo de combustible y un máximo de flexibilidad y seguridad en la operación.

Para evitar que por un aumento de presión en la caldera se produzca la rotura de sus paredes o la explosión, se emplean las *válvulas de seguridad*, cuyo principio de acción se ilustra en la figura 38.

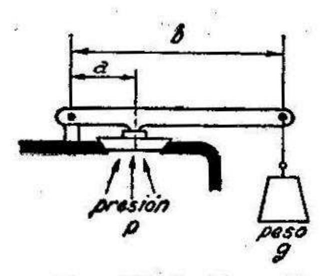


Fig. 38. — Válvula de seguridad.

Constan de una placa que calza exactamente en un orificio biselado de la caldera. Una palanca hace presión sobre la placa mediante la acción de un contrapeso calibrado. La palanca tiene un brazo o longitud para la acción de la presión de la caldera y otro para la acción del contrapeso. Supongamos que la presión máxima que debe haber en la caldera sea p, en Kg/cm^2, que la superficie de la parte de la placa que está en contacto con el vapor sea s, en cm^2, los brazos de palanca están indicados en la figura y se toman en cm, y el contrapeso tiene un peso de g (Kg). Veamos cómo se puede calcular el peso que hay que colgar de la palanca para equilibrar la presión interna de la caldera. En primer término, la placa está sometida a la presión p y tiene una superficie s; luego, si multiplicamos $p \times s$ tenemos la fuerza total que obra sobre la placa, dada en Kg.

Ahora debemos aplicar un viejo conocimiento de Física, sobre las palancas. Multiplicando la fuerza por el brazo de palanca, ese producto es igual para la potencia y para la resistencia. ¿No es cierto que todos recordamos ese principio? La fuerza total sobre la placa era $p \times s$, y si todavía la multiplicamos por el brazo de palanca a, tenemos el momento de esa fuerza (recordar lo visto en Mecánica, día 1º) Entonces el momento de la fuerza que actúa desde abajo sobre la placa vale:

$$p \times s \times a$$

Y este momento debe ser equilibrado por el momento de la resistencia, o sea por el producto del peso g por el brazo de palanca b. Luego el otro momento, el de la fuerza que actúa hacia abajo vale:

$$g \times b$$

Y ahora no hay ninguna dificultad en calcular el valor del peso g, pues basta dividir el primer momento por b, resultando:

$$g = \frac{p \times s \times a}{b}$$

Es decir que conocida la presión máxima que soporta la caldera, la superficie de la placa, tomada en cm^2, y las dos medidas de los brazos de palanca, que los medimos en cm, puede determinarse el peso en Kg. a colgar para evitar peligros para la caldera, pues la válvula se abrirá al aumentar accidentalmente la presión hasta la cifra límite tolerada.

Hay que hacer notar que con los valores dados, la válvula estará en equilibrio, es decir, no abrirá, de modo que la presión que intervenga en los cálculos debe ser la máxima admisible para la caldera, sin que se produzca una situación de peligro. Si la presión supera esa cifra, la válvula se abre y el vapor sale al aire libre hasta que se produce la disminución requerida de la presión.

La figura 39 muestra un *nivel de agua*, en forma esquemática. Este accesorio es tan indispensable e importante, que siempre se colocan dos, para conjurar el peligro de que uno falle. Consta, en esencia, de un tubo de vidrio comunicado en sus dos extremos con la caldera. Debido al principio de la igualdad de nivel en

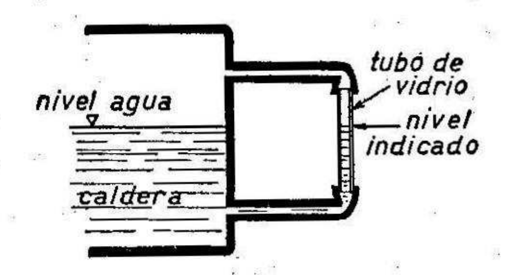


Fig. 39. — Nivel de agua.

vasos comunicantes, el nivel en el tubo será idéntico al que hay en la caldera. Tiene unas marcas que indican los niveles máximos y mínimos convenientes. Otro accesorio de importancia es el *manómetro*, o indicador de presiones del vapor en la caldera. Son de construc-

ción metálica, basados en la distensión de una espiral sometida a diferente presión en su interior con respecto a su exterior.

Para introducir agua en la caldera, hay que tener en cuenta que en ella hay una presión superior a la de la atmósfera, por lo cual será necesario vencer esa presión. Uno de los dispositivos que se emplean a tal fin es el *inyector de Giffard*, que está ilustrado esquemáticamente en la figura 40. El principio de funcionamiento es el siguiente:

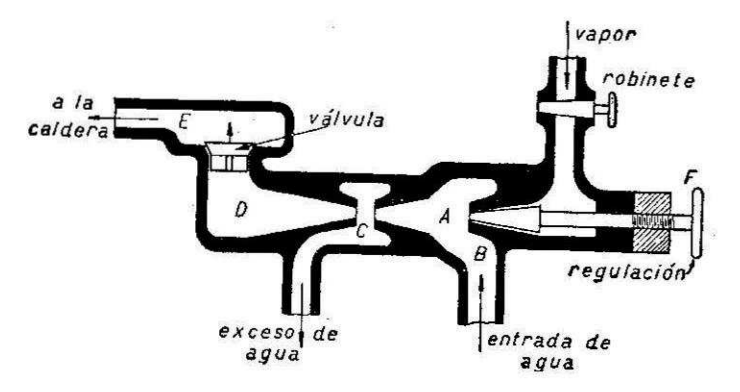


FIG. 40. — Inyector de Giffard para introducir agua en la caldera.

Se hace llegar vapor a presión por un tubo, hasta un pequeño orificio *A*. La cantidad de vapor que llega se controla por el robinete y la que sale por el orificio *A* mediante un volante de regulación *F*. El caño *B* comunica con el depósito de agua fría, y al salir el vapor a presión por el orificio *A*, se produce una succión por el tubo *B*, con lo que el chorro de vapor arrastra una gran parte de agua, que pasando por el conducto *D* actúa sobre la válvula de entrada a la caldera, levantándola y entrando el agua al conducto *E*. El agua excedente, que no pudo seguir en el chorro mixto de agua y vapor, cae por el caño *C* y vuelve al depósito.

Se puede regular con facilidad la cantidad de agua que debe entrar en la caldera mediante el regulador, que actúa sobre la aguja de inyección por tener su eje roscado. Cuando se cierra el robinete, deja de entrar vapor al conducto y el dispositivo no funciona.

Recalentadores

La ventaja del vapor seco sobre el saturado ha impuesto el uso de estos dispositivos en las instalaciones modernas. Consisten simplemente en una tubería acodada (ver Fig. 41) que está en contacto con los gases de la combustión. Por esa tubería se hace pasar el vapor que sale de la caldera a objeto de evaporar el agua que arrastra consigo, esto es, reducir su humedad relativa. La superficie de calefacción del recalentador debe estar de acuerdo con la cantidad de vapor, con su grado de humedad, con la temperatura que se desea para el vapor recalentado y la disponible en los gases de combustión. Todos esos factores se tienen en cuenta en la construcción, de manera que una instalación de calderas con recalentadores funcionará correctamente si así ha sido diseñada.

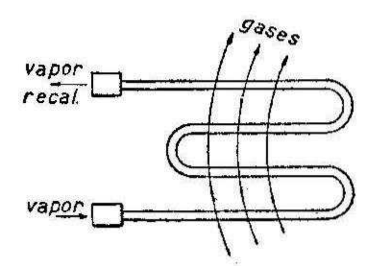


FIG. 41. — Recalentador de vapor.

Recuperadores y economizadores

El agua de alimentación de la caldera suele calentarse previamente a su entrada en la misma, a objeto de aumentar la eficacia de la instalación. Para tal fin se puede aprovechar el calor de los gases de escape que van a la chimenea, o el calor que lleva el vapor ya usado en la máquina.

Los dispositivos que utilizan el calor de los gases de escape se llaman *economizadores*, y su principio está ilustrado en la figura 42. Los gases que provienen del hogar se hacen pasar por un conducto en el que hay una serie de tubos por los que circula el agua que va hacia la caldera. Al paso de los gases, y por contacto con las paredes exteriores de la tubería, el agua se calienta. Luego los gases siguen su curso nor-

mal, yendo a la chimenea y saliendo por ella al exterior.

Los economizadores deben tener una superficie de caldeo de una tercera parte hasta la mitad de la superficie de calefacción de la caldera, para que trabajen con eficacia. La tem-

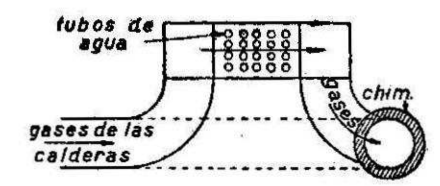


Fig. 42. — Economizador de calor.

peratura de los gases baja desde los 200 a 300°C hasta los 180°C, aproximadamente. La del agua sube hasta los 120°C en muchos casos, entrando al aparato a unos 30°C si es posible. Para tal fin, se suele agregar agua caliente a la fría que entra al economizador.

Los *recuperadores* aprovechan parte del calor que lleva el vapor ya utilizado, y tienen el aspecto que se esquematiza en la figura 43. Consisten en un recipiente cilíndrico, conteniendo una gran cantidad de tubos verticales por los que circula el agua en corriente ascendente. El

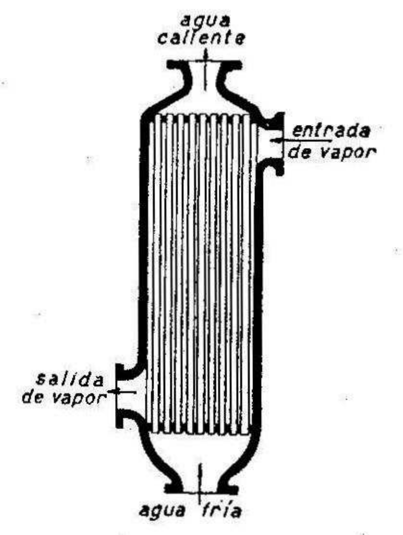


Fig. 43. — Economizador de combustible recuperando el calor del vapor.

vapor entra por un orificio superior y recorre el espacio comprendido entre los tubos, calentando el agua que pasa por el interior de los mismos y saliendo finalmente por un orificio inferior.

Se consigue calentar el agua hasta unos 90°C. Están provistos de termómetros para indicar esa temperatura, que debe ser vigilada. La construcción debe ser tal que se pueda retirar todo el paquete de tubos para su limpieza de incrustaciones.

Condensadores

El vapor ya utilizado en las máquinas que lo emplean para aprovechar su fuerza expansiva podrían enviarse a la atmósfera, pero ello sólo se hace en contados casos. En primer lugar, si el vapor se elimina hay que disponer de agua en abundancia, porque debe suplirse el consumo. La recuperación del agua mediante condensación del vapor tiene como primera ventaja la de necesitarse menor cantidad de agua en el servicio de la caldera.

Además, el vapor sale a una cierta presión, que obra contra el émbolo. Condensando ese vapor, se reduce la presión hasta fracciones de una atmósfera, con lo que se aumenta el rendimiento de la máquina. Esta es la segunda ventaja. Pero para condensar el vapor hay que enfriarlo y para ello se emplea agua fría, de modo que no siempre se dispone de ella en abundancia, como es el caso de las locomotoras que no pueden llevar consigo tal cantidad de agua. En los barcos, en cambio, se dispone de agua fría en cantidad fabulosa, el agua del mar, que si bien no sirve para alimentar la caldera por su contenido salino, se presta a ser utilizada como refrigerante. En calderas de instalaciones fijas, se utiliza agua que se puede enfriar luego en piletas o radiadores, según el tamaño y cantidad de agua de que se trate.

Vistas las ventajas de condensar el vapor que sale de la máquina, pasemos a describir los condensadores. Hay tres tipos fundamentales: de mezcla, de superficie y de fuerza viva. El tipo más empleado es el segundo.

Los *condensadores de mezcla* producen un contacto entre el vapor y el agua, para lo cual esta última se hace caer en el recipiente que contiene vapor, en forma de lluvia. Generalmente se necesitan de 25 a 30 litros de agua para condensar un Kg. de vapor, y de acuerdo con estos datos se dimensiona el condensador. Como el agua de enfriamiento se mezcla con la que resulta de la condensación, aquélla debe ser depurada como para su uso ulterior en la caldera misma.

Los *condensadores de superficie* trabajan en forma completamente similar a los recuperadores (Fig. 43), conteniendo una serie de tubos por los que circula el agua de refrigeración. El

vapor circula por el resto del cilindro, en sentido contrario al del agua. Se requieren de 40 a 50 litros de agua por Kg de vapor a condensar, pero tiene la ventaja que ésta no necesita ser depurada, pues tiene circulación únicamente para los fines de la refrigeración.

Para proveer la circulación de agua, se emplean bombas de émbolo o centrífugas. El agua puede enviarse al exterior para su eliminación, pero si interesa volver a utilizarla hay que enfriarla previamente. El caso típico de agua que se usa una sola vez es el de los barcos y las instalaciones junto a corrientes (ríos, etc.), en cuyos casos no interesa enfriar el agua de salida del condensador. En los demás casos se acostumbra a enfriar el agua y volverla al condensador, para evitar su desperdicio, pues la cantidad necesaria es importante.

En líneas generales, la superficie de refrigeración varía desde 2 a 3 m^2 por cada 100 Kg de vapor, siempre que se disponga de agua fría a temperatura de unos 10 a 15°C. El vapor ya condensado es el agua que se envía nuevamente a la caldera, pero debe agregarse una parte para suplir las pérdidas por fugas de vapor. Es importante observar que el agua a agregar debe ser depurada previamente, para evitar las incrustaciones y corrosiones, pero nunca es tan grave el problema como si no se usara condensador, pues entonces habría que depurar toda el agua de alimentación de la caldera y continuamente, pues siempre entra agua nueva.

Los *condensadores de fuerza viva* se basan en el principio de convertir en trabajo mecánico la energía calorífica contenida en el vapor, con lo que se enfriará y, por consiguiente, se producirá la condensación. Claro que no se evita el empleo de dispositivos especiales para lograr ese objeto. Hay modelos que hacen entrar al vapor a una rueda con orificios, mediante un chorro de agua. El vapor se condensa durante la operación al transformar en fuerza viva su energía calorífica.

Otros modelos semejan bombas centrífugas, en los que el agua es impulsada por una rueda de palas, saliendo en forma de una lámina líquida. El vapor se hace incidir sobre el disco de agua y se produce la condensación. Hay, finalmente, modelos en los que se emplea una complicada instalación, pues la centrífuga que acciona al agua de condensación está movida por una turbina de vapor, adquiriendo el conjunto un aspecto de gran instalación.

En todos los casos, con los condensadores de fuerza viva no se obtiene una economía en el consumo de agua, por ser mayor que en los otros tipos (60 a 70 litros por Kg de vapor), pero muchas veces se emplean por ocupar menor espacio y tener una cómoda regulación.

El empleo de condensadores requiere conocer la potencia mecánica necesaria del equipo, representada por la bomba, y dispositivos auxiliares. Para condensadores de mezcla, se requiere de 1 a 2 % de la potencia total de la máquina a vapor. Para condensadores de superficie, esa cantidad se reduce de 0,3 a 0,7 % de la misma potencia de la máquina.

Para recuperar el agua de enfriamiento de los condensadores se la refrigera en piletas o más eficazmente en torres. Para tal fin se la eleva mediante bombas hasta la parte superior de las mismas y se la deja caer en forma de lluvia fina, con lo que se consigue que se enfríe. La altura de estas torres oscila entre 4 y 6 metros para instalaciones comunes. El aire que enfría al agua que cae circula por tiraje natural de la torre o ayudado por ventiladores. Para torres chicas y reducida cantidad de agua se emplea la circulación natural de aire, pero para cantidades mayores de agua se hace necesario el empleo de ventiladores o extractores que ayuden a aumentar la circulación.

La superficie de esas torres está en relación con la cantidad de vapor que se gasta por hora. Así, se necesitan unos 1,0 a 1,5 m^2 de superficie por cada 100 Kg de vapor consumido por hora, correspondiendo la cantidad mayor a instalaciones pequeñas sin ventiladores y la menor a las grandes con tiro forzado.

Día 5

En el día ya transcurrido nos ocupamos de las características del vapor de agua y de su producción, y prometimos abordar hoy el funcionamiento de los motores a vapor, los que también suelen llamarse máquinas a vapor. En esencia, sabemos que son dispositivos que aprovechan la fuerza expansiva del vapor de agua, fuerza que se debe a la presión que ejerce el vapor sobre las paredes del recinto en que se encuentra. Hay dos clases fundamentales de motores a vapor, son los alternativos o a pistón y las turbinas. El estudio de los modelos a pistón nos permitirá ir familiarizándonos con los principios constructivos de los otros tipos de motores térmicos que estudiaremos más adelante.

Convendría recordar que el origen de este tipo de motores se debe a la observación de un gran físico, Stephenson, que al contemplar cómo el vapor de agua en ebullición levantaba la tapa de una pava, pensó en utilizar esa fuerza expansiva y así surgió el principio de los motores que ahora estudiaremos. Y, posteriormente, esa misma idea sirvió para cambiar tal fuerza expansiva por otras que se producían dentro mismo de los motores, y así surgieron los motores diesel y a explosión. Pero éstos son temas para más adelante; ahora debemos encarar los motores a vapor.

MOTORES A VAPOR

Para comenzar la exposición, dividamos primero los motores a vapor en sus dos clases fundamentales: los de émbolo y las turbinas. Para dejar sentadas las diferencias fundamentales, diremos que los de émbolo tienen un movimiento alternativo de un émbolo o pistón cilíndrico dentro de un cilindro levemente mayor, algo así como el inflador de bicicleta o el aparato para pulverizar insecticidas. En las turbinas hay una rueda con aletas a las que la fuerza expansiva del vapor empuja, haciendo girar a la rueda. Como en todos los motores se busca un movimiento rotativo, la turbina ya lo entrega, y el motor alternativo deberá sufrir una transformación de movimientos; debemos convertir un movimiento alternativo o de vaivén, rectilíneo en sus dos fases, en un movimiento circular, lo que se hace mediante el dispositivo denominado *biela-manivela.*

Hecho este breve preámbulo para fijar conceptos iniciales, pasaremos al estudio de los motores en si, primero los de émbolo y al final tocaremos brevemente el tema de las turbinas. La razón de haber dedicado mayor extensión al primer tipo es porque es el más difundido para instalaciones chicas y medianas, ya que las turbinas son usuales en las usinas y establecimientos de gran potencia.

FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR A EMBOLO

El desplazamiento de un cilindro macizo dentro de otro hueco, llamados *émbolo* o *pistón* y *cilindro*, es común en la práctica, pues se lo encuentra en las bombas de agua, en los compresores, en las jeringas hipodérmicas, en los dos casos del inflador y el vaporizador citados antes, y en una gran cantidad más de casos. Debido a ello podemos entrar directamente en materia.

La presión del vapor de agua se aprovecha en estas máquinas para realizar un trabajo útil. A tal fin se lo hace actuar en la cara de un émbolo, al que desplaza con fuerza. Llegado al extremo de la carrera, se permite al vapor su salida al exterior y se hace actuar más vapor sobre la otra cara del émbolo, desplazándolo en dirección opuesta a su primera carrera. Si-

guiendo en tal forma, se consigue un movimiento alternativo que se puede convertir en otro circular, haciendo girar una rueda u otro dispositivo.

La figura 44 ilustra la más esquemática representación de un cilindro de máquina a vapor. *E* es el émbolo, *C* el cilindro, *A* y *B* las válvulas de los extremos, aunque no siempre la entrada

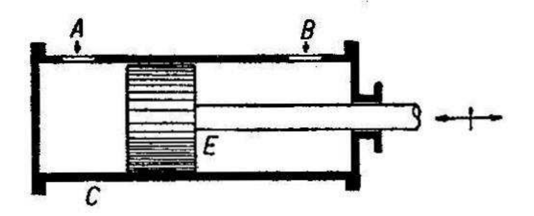


FIG. 44. — Representación esquemática del cilindro de una máquina a vapor.

y salida de vapor se gobierna con válvulas. Supongamos que el émbolo está en el extremo de la izquierda y que comunicamos la válvula *A* con el conducto de llegada del vapor. La fuerza expansiva de éste actúa sobre el émbolo, empujándolo hacia la derecha. Cuando llega al extremo derecho del cilindro, cortamos el vapor de la válvula *A* y comunicamos el conducto de llegada con la válvula *B*, al mismo tiempo que la *A* toma conexión con el exterior, caño de salida o conducto que va al condensador de vapor. La fuerza expansiva actúa sobre la cara derecha del émbolo, desplazándolo hacia la izquierda, al mismo tiempo que se expulsa el vapor por la válvula *A*.

El émbolo adquiere así un movimiento alternativo que puede utilizarse en tales condiciones o convertirse en uno circular, mediante un mecanismo de biela y manivela. Veamos la figura 45, que representa esquemáticamente la conversión del movimiento. El eje o vástago del émbolo está articulado a la biela *b* mediante la cruceta *c*, que tiene una guía para deslizarse. En su otro extremo la biela está articulada a la manivela *m*, mediante el botón de la manivela. Al desplazarse el émbolo de derecha a izquierda y viceversa, la biela empuja a la manivela obligándola a girar. Con esto, el eje al cual está fijada la manivela girará también, y se habrá logrado la conversión del movimiento alternativo en uno de rotación.

El recorrido útil del pistón o émbolo se llama *carrera*, y se la designa con la letra *s*. El radio de giro, que es también la longitud de la manivela, se lo designa con la letra *r*. Es evidente que la carrera es el doble del radio:

$$s = 2\,r$$

Puesto que cuando la manivela está horizontal, y hacia la izquierda, el émbolo está en su punto muerto izquierdo, y cuando la manivela está otra vez horizontal, pero hacia la derecha, el émbolo está en su punto muerto derecho.

El mecanismo descripto merece que nos detengamos en mayores detalles, porque es básico para todos los tipos de motores que estudiaremos, con modificaciones propias de cada caso. El cigüeñal de los motores térmicos no es otra cosa que una derivación de la manivela, aplicada al motor que tiene más de un cilindro.

La figura 46 nos muestra seis fases del movimiento, de entre las infinitas posiciones posibles. Es evidente, por lo pronto, que las longitudes útiles del cilindro y de la guía de la cruceta deben ser iguales entre si y al doble de la longitud de la manivela. Obsérvese también que la altura de la cruceta, que da el ancho de la guía por donde ella corre, no puede tener cualquier dimensión, sino que en la posición Nº 2 se ve que para que la manivela no toque su borde, hay que darle la dimensión correcta.

En estos gráficos no se han dibujado las aberturas para válvulas o las lumbreras que vimos en la figura 44, para simplificar. El émbolo tiene su vástago fijo y éste está articulado mediante buje y perno en la cruceta. Más adelante veremos en los otros tipos de motores que el pistón está articulado directamente a la biela, pues en ellos se suprime el vástago y la cruceta. La biela está articulada con la manivela y ésta lo está con el eje de giro principal del motor. Este eje es el que adquiere el movimiento de rotación, y por consiguiente es el *eje motriz*.

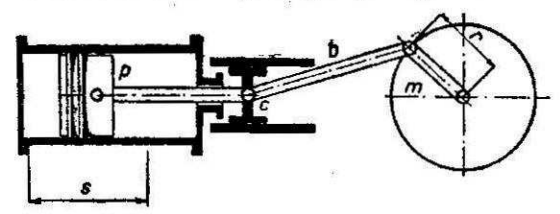


FIG. 45. — Transformación del movimiento rectilíneo en circular.

La posición que hemos marcado como Nº 1 es el punto muerto de la izquierda y corresponde en los motores de cilindro vertical al llamado punto muerto superior. En los puntos muertos quedan alineados el vástago con la biela y la manivela. El émbolo llega justo hasta la lum-

brera de la izquierda, por la que entra vapor y lo empuja hacia la derecha. En esta posición el motor no puede arrancar solo, porque el empuje del vástago sobre la biela y de ésta sobre la manivela se produce en una misma línea recta y no puede comenzar el giro. Si el motor está detenido en esta posición hay que hacer girar un poco el eje motriz, lo que se hace accionando el volante, suerte de rueda de gran tamaño que llevan estos motores para regularizar la velocidad de giro.

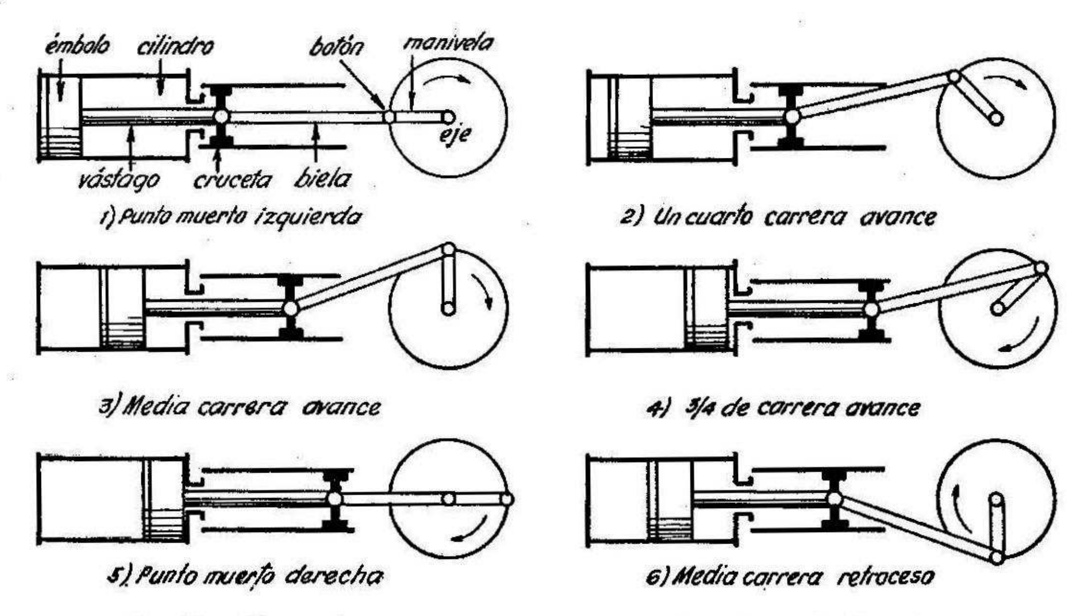


FIG. 46. — El mecanismo biela-manivela en seis posiciones de su funcionamiento.

Comenzado el giro llegamos así a la posición Nº 2, en la que se ha cumplido un cuarto de la carrera de avance. En los motores verticales es la carrera descendente. La manivela ha girado un octavo de vuelta. Un poco después, con un giro de otro octavo de vuelta, la manivela queda en posición vertical, la que hemos señalado con el Nº 3. La cruceta y el émbolo han hecho la mitad de la carrera de avance. Luego viene la posición Nº 4, con tres cuartos de carrera y después la N 5, en la que se llega al punto muerto de la derecha. Este punto es el punto muerto *inferior* en los motores verticales. El émbolo y la cruceta han alcanzado sus posiciones extremas de la derecha, llegando el primero a la abertura o lumbrera que está en ese extremo del cilindro (Fig. 44). La manivela queda alineada otra vez con la biela, y en la ilustración esta última cubre a la primera. Esta posición también es de arranque imposible, como la Nº 1.

El motor sigue su marcha, pues el volante, por inercia, sigue su giro, pasamos por la posición Nº 6 y finalmente llegamos otra vez a la Nº 1, con lo que ha terminado una vuelta completa o ciclo; de inmediato ocurre otra vuelta y así sucesivamente. En los motores térmicos veremos que el émbolo se llama pistón, la biela conserva su nombre, la manivela se reemplaza por el cigüeñal y la articulación de la biela con el pistón es un perno.

Distribución

Llámase así al conjunto de operaciones que comprende la admisión de vapor en ambos extremos del cilindro en los instantes oportunos, así como el escape de ese mismo vapor cuando corresponda. La distribución puede realizarse en dos formas distintas, que se basan en diferentes principios: la distribución de corredera y la de válvulas o llaves. La primera emplea un órgano auxiliar encargado de comunicar los conductos de entrada de vapor y de escape con los orificios de entrada de cada extremo del cilindro. La distribución de válvulas o de llaves emplea un órgano distinto para la admisión de vapor que para el escape.

Veamos como funciona la corredera, representada esquemáticamente en la figura 47. La ilustración corresponde a un modelo cilíndrico, pero los hay planos, con idéntico principio de

funcionamiento. El vapor tiene acceso por los dos extremos de la corredera, y en la parte inferior se distinguen tres conductos, uno para el escape, que se dirige a la atmósfera o al condensador de vapor, y dos para las entradas del cilindro (corresponden a las entradas *A* y *B* de la figura 44).

Desplazando la corredera hacia la derecha, el vapor entra al conducto *A*, mientras que el *B* se pone en comunicación con el escape. Desplazándola hacia la izquierda, el conducto *B* admite vapor, mientras que el *A* se comunica con el escape. El desplazamiento de la corredera debe estar sincronizado con el movimiento del émbolo, a fin de que la admisión y el escape se produzcan en el momento oportuno.

La figura 48 muestra una disposición de conjunto, con un corte del cilindro para ver los conductos, una corredera plana accionada por una barra unida a una excéntrica, la cual está acoplada al eje del volante y de la manivela. En esta forma la acción de la corredera y del émbolo está sincronizada automáticamente.

La distribución por válvulas se hace colocando en el cilindro dos válvulas en cada extremo, una para la admisión del vapor y otra para el escape. En los momentos oportunos se abre la de admisión de un extremo y la de escape del otro, y cuando el émbolo ha cumpido su carrera, cambian las aperturas y cierres. Para accionar las válvulas se emplean levas, que son movidas en forma ascendente-descendente mediante excéntricas (ver Fig. 49). Un árbol de levas accionado por el árbol motor de la máquina mediante un mecanismo especial se encarga de mover todas las levas en forma sincronizada. Como este sistema de distribución se asemeja mucho al empleado en los motores de combustión interna, lo veremos en detalle en los capítulos próximos. Nos ocuparemos ahora de la distribución a corredera, que es típica en las máquinas a vapor y que raramente se emplea en otros mecanismos. Claro está que no es posible hacer un estudio detallado de todos los sistemas de correderas, porque hay tal diversidad y combinaciones tan numerosas que requieren un tratado especializado.

El sistema de distribución exige cierta sección para los conductos, de modo que permitan cómodamente el paso sin producir estrangulamiento en la vena flúida. Asimismo se deben evitar en lo posible los espacios nocivos, tanto para reducir el tamaño como para evitar torbellinos. Y como tercer condición se exige un cierre hermético, porque en caso contrario se producirán fugas, descenso de presión, etc., y se reducirá el rendimiento de la máquina.

La corredera se desliza sobre una superficie especular, a fin de facilitar el desplazamiento y proveer un cierre hermético. Hay que tener en cuenta que no hay conveniencia en mantener la admisión durante toda la carrera del cilindro, pues el consumo de vapor se hace mayor y no así el trabajo útil. La corredera debe permitir

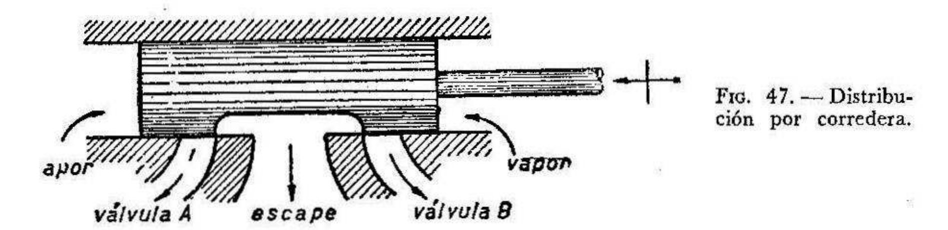
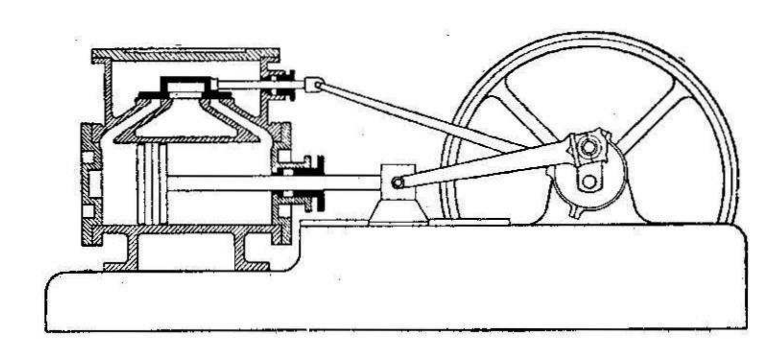


FIG. 47. — Distribución por corredera.


FIG. 48. — Máquina a vapor horizontal. Obsérvese el volante fijo al eje motriz.

la admisión sólo durante una primera fracción de la carrera, cerrando enseguida el conducto de aspiración. A tal objeto está provista de re-

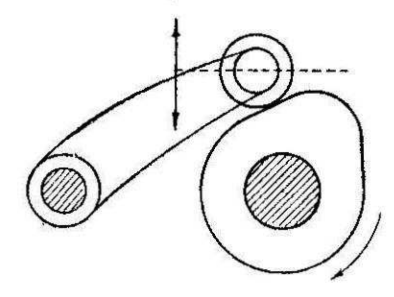


FIG. 49. — Funcionamiento de la leva.

cubrimientos, o salientes, que cubren el orificio de admisión oportunamente. Asimismo, el escape no se abre exactamente cuando el pistón llega al punto muerto, sino un poco antes, lo cual debe ser gobernado por la corredera. Este *avance al escape* tiene por objeto dar tiempo al vapor a reducir su presión antes que se invierta la marcha del émbolo.

Es corriente que la admisión se realice durante un décimo de la carrera, y que el avance al escape sea de un 15 a un 25 % de dicha carrera. Todo ello se tiene en cuenta mediante los recubrimientos de la corredera y los ángulos que forma la excéntrica con la manivela.

Inversión de marcha

Para poder arrancar en cualquier posición que se halle el émbolo, se necesitan disponer dos cilindros, con manivelas ubicadas a 90° en-

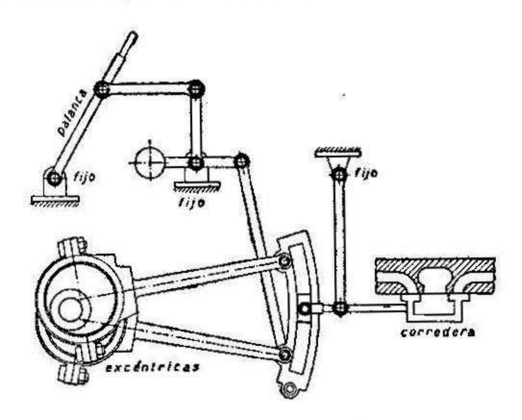


FIG. 50. — Colisa de Stephenson.

tre sí. Para invertir la marcha debe permutarse el escape con la admisión, mediante una corredera auxiliar. Las colisas de distribución permiten la inversión de marcha y la regulación de la admisión y el escape mediante el simple movimiento de una palanca.

Un ejemplo de esto es la colisa de Stephenson, ilustrada esquemáticamente en la figura 50. Se disponen dos excéntricas desplazadas angularmente entre sí, y cuyas barras están articuladas a un sector metálico o colisa propiamente dicha. La colisa puede modificar su posición mediante la acción de un juego de palancas gobernadas a mano, según se ve en la figura. Para la posición superior de la articulación central de la colisa, la corredera es accionada por una excéntrica y para la superior, por la otra. En posiciones intermedias se consigue una regulación. El modelo ilustrado es el Stephenson de bielas cruzadas, porque hay otro con bielas abiertas, con el cual se logra el mismo objeto.

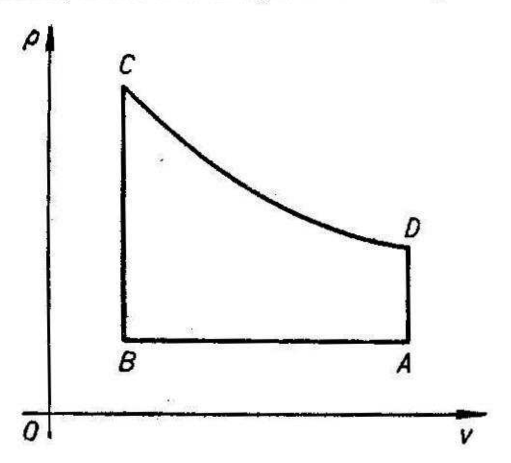


FIG. 51. — Diagrama teórico de funcionamiento de la máquina a vapor.

Otros sistemas de colisa o sector tienen principio de funcionamiento algo distinto, pero se construyen para el mismo fin, es decir, regulación e inversión de marcha.

Diagrama de trabajo

Teóricamente, y suponiendo que no hay intercambio de calor con el exterior, el diagrama de trabajo de una máquina de vapor se puede representar con auxilio de lo estudiado en el capítulo 3º. En efecto, tomando un par de ejes coordenados, según se ve en la figura 51, llevaremos las presiones en el vertical y los volúmenes en el horizontal. Imaginemos que en *A* comienza el ciclo, cuando el émbolo comienza su carrera y el volumen del cilindro a la izquierda se reduce paulatinamente, llegándose al punto *B*, final de la carrera. Aquí se abre la admisión,

con lo que la presión se eleva bruscamente hasta el punto C y comienza a actuar la expansión sobre el pistón, correspondiendo la curva adiabática *C D*, hasta que llegado al punto *D* se abre el escape, y la presión se reduce a la atmosférica, dada para el punto *A*. El diagrama real de la máquina difiere bastante del teórico, por varias razones. En primer lugar, ni la admisión ni el escape se hacen en forma brusca. En segundo lugar, el uso de condensador permite reducir la presión por debajo de la atmosférica. Y también debe tenerse en cuenta el avance a la admisión y el avance al escape, por todas cuyas razones el diagrama real presenta el aspecto que se ve en la figura 52.

O A representa el espacio nocivo o volumen del cilindro que nunca ocupa el pistón, y *O B* es el volumen máximo del cilindro, que queda entre un extremo y la cara del pistón cuando éste está en el extremo opuesto. *O C* representa la presión atmosférica, notándose que recién se alcanza en el punto *E* donde comienza la admisión. El punto *F* marca el avance al escape, con una marcada reducción en la presión, y cerca del final de la carrera de expansión. *O D* es la presión máxima, al final de la admisión. Debido al avance a la admisión, desde el punto

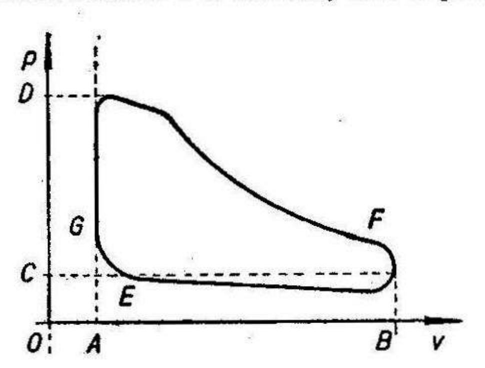


Fig. 52. — Diagrama real de trabajo.

E hasta el G hay una compresión adiabática, pues entra vapor en el cilindro y el volumen se va reduciendo hasta el final de la carrera.

Indicadores

Para obtener el diagrama real de trabajo directamente, se utilizan aparatos denominados *indicadores*, de los que el más común es el de Watt, ilustrado esquemáticamente en la figura 53. Consta de un cilindro *C* con su émbolo o pistón *P*, sobre el que actúa el vapor del cilindro principal de la máquina. Puede dejarse al indicador sin trabajar con sólo cerrar el robinete o llave *L*, que comunica con el cilindro de la máquina. El pistón *P* está sometido a la acción de un resorte *R*, que es vencido por la

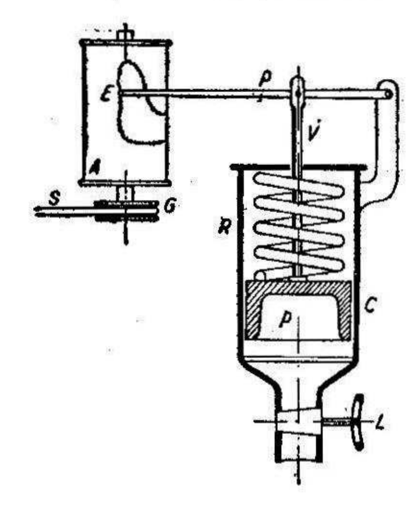


Fig. 53. — Indicador de presiones.

presión del vapor. El vástago de ese pistón *V*, acciona a una palanca *P*, que tiene en su extremo un eje fijo y en el otro un estilo *E*, con tinta. El cilindro *A* está fijo a una polea de garganta *G*, que es accionada por una cuerda o soga *S* directamente por un mecanismo fijado al vástago o al émbolo de la máquina. De manera que al moverse el émbolo de la máquina, el cilindro A gira, y como está envuelto con un papel, el estilo *E* haría una raya horizontal. Pero la presión del vapor actúa sobre el pistón *p*, la palanca *P* sube o baja según sea el equilibrio entre la presión y el resorte *R*, y el estilo *E*, en lugar de una raya horizontal traza el diagrama de presiones y volúmenes de la máquina, es decir, el diagrama de la figura 52.

El diagrama de trabajo es un índice de la potencia que desarrolla la máquina, pues su área es proporcional a dicha potencia. Con el diagrama obtenido en el indicador se puede calcular la potencia real desarrollada. Para poder calcularla, hay que conocer la constante propia del aparato, dada en función del resorte empleado. Los indicadores vienen con su juego de resortes y sus constantes para dicho fin.

Máquinas de múltiple expansión

En la admisión, el vapor entra al cilindro y toma contacto con las paredes algo frías del mismo, con lo que se produce una condensación, de resultados perniciosos, pues reduce el rendimiento de la máquina. Para obviar el in-

conveniente se puede dotar al cilindro de una camisa de vapor, que se construye dando al cilindro doble pared, y haciendo circular vapor por el espacio comprendido entre ambas paredes. Este espacio se llama *camisa*. El procedimiento tiene el inconveniente que empeora la lubricación, por lo que ha sido substituído por otro sistema, que es el de las máquinas de doble o múltiple expansión.

Si dotamos a la máquina de dos émbolos, con un vástago común, pero de modo que los volúmenes y las presiones de las dos zonas del cilindro sean distintas, se tiene la máquina de doble expansión esquematizada en la figura 54. El cilindro menor es el de *alta* presión y el mayor el de *baja*. En el de alta la temperatura es mayor que en el de baja, consiguiéndose una caída de temperatura en dos etapas, con lo que se reduce la condensación de admisión, mejorando el funcionamiento. Hay también máquinas de triple expansión, en las cuales se dispone de tres etapas.

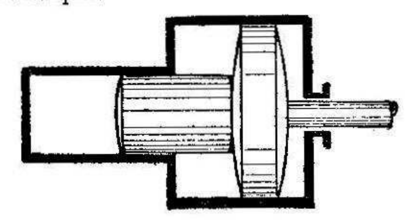


FIG. 54. — Principio de la máquina de doble expansión.

El funcionamiento de la distribución, que regula la admisión y el escape debe ser combinado de tal modo que el vapor de escape del cilindro de alta entre en el de baja, y al salir de aquí recién vaya al condensador o a la atmósfera, según el caso.

Si se trazan los diagramas de presiones de los dos cilindros, se notará que en uno hay un volumen reducido y una presión elevada, y en el otro, a la inversa. El método de Rankine consiste en trazar los dos diagramas en un solo gráfico, según se ve en la figura 55. La parte I corresponde al cilindro de alta, y la II al de baja. El pequeño espacio comprendido entre ambos diagramas es inevitable, debido a la pérdida de presión que se produce al pasar el vapor del cilindro de alta al de baja.

Las máquinas de doble expansión se denominan *en tandem* o *compound*, y son de uso muy generalizado debido a las ventajas señaladas. Los cilindros pueden ubicarse en la forma que se esquematiza en la figura 54, o con posición opuesta y distribución cruzada.

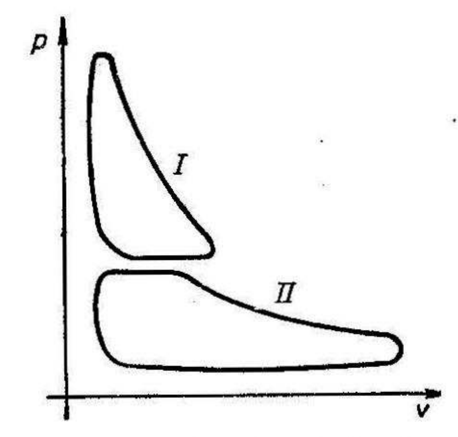


FIG. 55. — Diagrama de trabajo de la máquina de doble expansión.

TURBINAS DE VAPOR

Los motores de vapor alternativos se emplean en innumerables aplicaciones industriales, pero hay casos en que se prefiere el uso de máquinas cuyo movimiento motriz sea directamente rotativo. Tal es el caso de las grandes usinas generadoras de energía eléctrica, en las que se requiere un elevado rendimiento bajo condiciones de trabajo muy estables. En el accionamiento de los grandes alternadores es donde más se ha generalizado el empleo de las turbinas de vapor, aunque a veces, cuando se dispone de saltos de agua se emplean las turbinas hidráulicas, de características completamente distintas.

Esencialmente, la turbina consta de una rueda que tiene en su periferia una serie de paletas, sobre las que se hace incidir el chorro de vapor (ver Fig. 56). La fuerza expansiva del vapor hace girar a la rueda, pues se convierte su energía potencial en cinética. El vapor, una

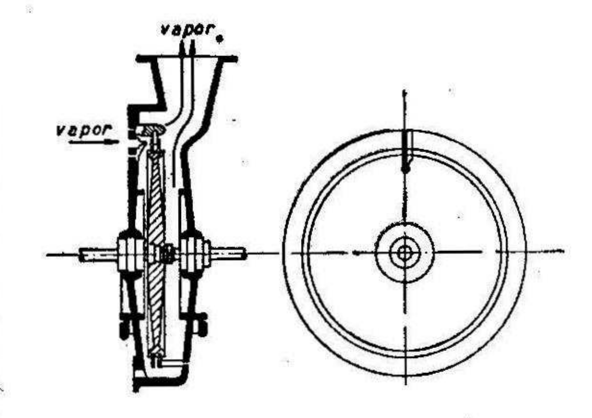


FIG. 56. — Turbina de vapor.

vez que sale de las aletas, pasa por conductos que lo llevan al escape en la atmósfera o a los condensadores para licuarlo y utilizar nuevamente el agua en las calderas.

La instalación generadora de vapor no se diferencia de las que se usan para las máquinas alternativas, pudiendo encontrarse calderas de cualquier tipo, recuperadores, economizadores, condensadores, etc. La diferencia entre los dos tipos de máquinas térmicas estriba en la forma como se aprovecha la fuerza expansiva del vapor.

La aplicación más común de las turbinas es para accionar alternadores eléctricos de alta velocidad (1500 ó 3000 r.p.m.) para los cuales las ruedas polares se construyen en forma muy simplificada. Pero aun así se recurre al empleo de las turbinas cuando se trata de grandes potencias, donde se comienza a notar economía en el consumo de vapor, pues para las pequeñas no existe tal ventaja. A esa conveniencia se une la de ocupar menor espacio y pesar menos que las máquinas de émbolo, además de carecer de trepidaciones, ya que no hay conversión de movimiento alternativo en rotativo, como en las otras máquinas. Y todavía merece citarse su constancia de velocidad, muy importante para las usinas, que llega a mantenerse dentro de un 3 % al pasar de funcionamiento en vacío hasta la plena carga.

Por su principio de funcionamiento, las turbinas se dividen en dos grandes grupos: las de ruedas de *acción* y las de *reacción*. Entre las primeras tenemos el tipo de Laval y el Curtis, y las de reacción son del tipo Parsons. Para comprender la diferencia que hay entre los dos tipos, veamos el funcionamiento en detalle, con

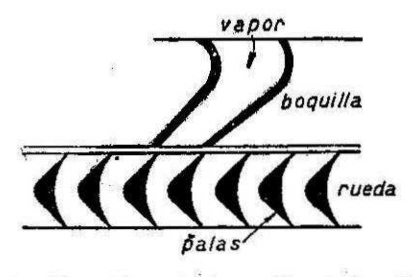


FIG. 57. — Corte de la rueda y la boquilla.

ayuda del esquema de la figura 57. Representa una vista superior de parte de la rueda, con algunas paletas colocadas, y el conducto del distribuidor llamado *boquilla*.

Las paletas tienen una forma combada, a fin de facilitar el escurrimiento del chorro de vapor que sale con gran velocidad de la boquilla. Si la forma de las palas es tal que el chorro de vapor incide en ellas bruscamente y produce la impulsión de la rueda, se dice que la turbina es de *acción*. Si, en cambio, el chorro de vapor entra un poco suavemente en la rueda, y después que recorrió parte de la paleta se pro-

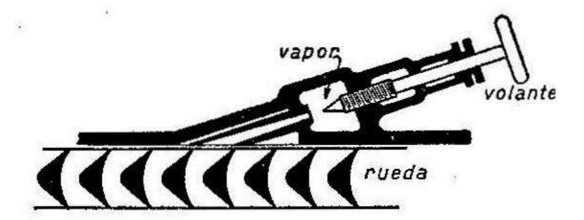


FIG. 58. — Forma de efectuar la regulación en una turbina.

duce su expansión, que obliga a girar la rueda, la turbina es de *reacción*.

Resumiendo, en las de acción, el cambio de presión por velocidad se hace en un salto brusco. Al salir de la boquilla el vapor ya tiene la misma presión que la que hay dentro de las paletas, pero tiene una gran velocidad. En las turbinas de reacción, el vapor que sale de la tobera tiene una cierta velocidad, pero mayor presión que la que hay dentro de la pala, de modo que parte de la expansión se produce ahí dentro. Las de acción pueden construirse con un solo rodete, tipo de Laval, o con una serie de ruedas paralelas, que fraccionan la velocidad del vapor, teniéndose el tipo Curtis. Las de reacción tienen un verdadero anillo lleno de paletas directrices, que hacen el papel de las toberas del distribuidor. La forma del distribuidor y de las palas de la rueda es muy distinta para las de acción que para las de reacción, pues en estas últimas tienen una suave curvatura de sentidos encontrados, mientras que en las de acción, cuya forma corresponde más o menos a la ilustración de la figura 57, las toberas presentan curvatura, pero las paletas tienen posición que se opone al chorro de vapor, para lograr el efecto de repulsión.

La regulación en las turbinas se hace en el distribuidor, estrangulando más o menos la entrada de vapor, según se puede ver en la figura 58. Mediante un volante se maneja un vástago que obstruye más o menos la boquilla, consiguiendo que entre una cantidad variable de vapor a la rueda.

Las turbinas de múltiple expansión están provistas de varios rodetes, en los que se fracciona la presión, si son de reacción, o la velocidad, si son de acción.

Día 6

Hasta ahora hemos estudiado un tipo de motores, los que funcionan a vapor, en los que se aprovecha la fuerza expansiva del vapor de agua. No hay más que dejar entrar el vapor en el cilindro para que sea empujado el émbolo. La fuerza expansiva la da, entonces, la presión del vapor. No hay otro fenómeno que una variación de presión, acompañado de la lógica variación de temperatura que ocurre en el vapor de agua. Podría entonces hablarse de motores de expansión, cuando se hace referencia a los motores a vapor.

Comenzaremos a ocuparnos ahora de otro tipo de motores en los cuales la fuerza expansiva la suministra la combustión de un gas, ya sea éste una mezcla gaseosa combustible o una pulverización de combustible líquido en un gran volumen de aire. Se suele denominar como motores de combustión a tal tipo, y veremos que los más comunes son los que preparan el gas en el mismo motor, como los diesel y a explosión. Los motores a gas reciben del exterior el gas que entrará en combustión, el cual ya viene preparado.

Se puede utilizar el gas de tuberías de distribución o emplear un generador de gas, llamado gasógeno. En instalaciones móviles, vehículos, etc., el gasógeno debe ser llevado conjuntamente con el motor. De todo ello nos ocuparemos en esta jornada.

MOTORES A GAS

Principios básicos

Todos sabemos qué es el gas, y entendemos que con este nombre se designa a los tipos de gases que se usan en la industria y el hogar como combustible; arden con sólo arrimarle una llama o provocar una chispa. El proceso por medio del cual un gas se quema entregando energía se llama *combustión*. Ella puede producirse con el gas a la presión atmosférica o comprimiendo el gas en un recinto y produciendo una chispa cuando está comprimido. Este segundo método es el que se usa en los motores a gas.

Ya surge la idea de cómo se puede aprovechar la fuerza expansiva de la combustión del gas, utilizando un cilindro hueco, y colocando en su interior un pistón o émbolo. La figura 59 nos muestra el resultado. Hay otros elementos que los mencionados, pero no nos son desconocidos después de haber estudiado los motores a vapor. El gas que se hace entrar por la tubería o conducto de admisión puede ser gas de alumbrado, gas pobre, el de altos hornos o cualquier otro tipo de gas combustible. Más adelante nos ocuparemos de los generadores de gas o gasógenos y volveremos sobre el tema. Si se comprime uno de esos gases, y dentro de la cámara donde se halla se hace una chispa, se producirá la combustión del gas y un aumento brusco de la presión con aumento de temperatura. La enorme fuerza expansiva que se origina en ese instante se puede aprovechar para mover un pistón y realizar un trabajo útil. Es importante destacar que no se usa gas puro, sino que se lo mezcla con aire, en proporción y forma que veremos más adelante.

Veamos al efecto la figura 59. Tenemos un corte esquemático de un cilindro de un motor de gas, con el pistón al que se le ha colocado una biela y su manivela, esta última formando parte del eje motriz acodado o cigüeñal. El cilindro está forrado con dobles paredes, entre las cuales circula agua de enfriamiento, a efecto de mantener la temperatura dentro de límites compatibles con el funcionamiento. En tales condiciones, esta camisa de refrigeración se encarga

de limitar la temperatura, haciendo que toda transformación de presiones y volúmenes sea de carácter adiabático, según se ha visto. En el extremo cerrado del cilindro hay un estrechamiento y dos orificios cubiertos con válvulas; una de ellas es la que dejará entrar el gas y la otra la que le permitirá salir a la atmósfera una vez quemado.

Hasta ahora no se nota mucha diferencia con una máquina a vapor monocilíndrica, salvo en el detalle de que tenemos dos válvulas en un

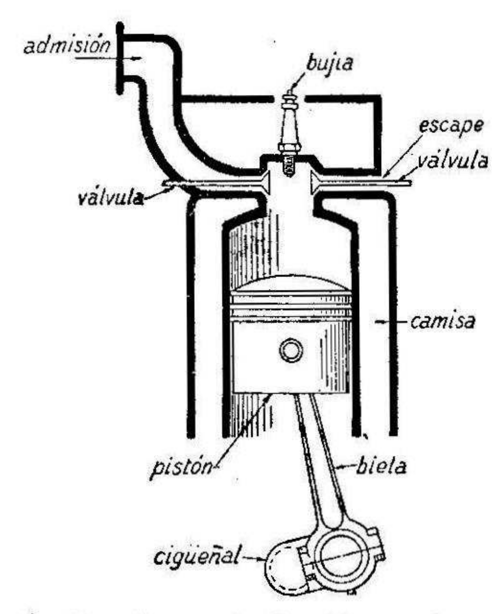


Fig. 59. — Corte esquemático del motor de gas.

extremo del cilindro, mientras que en las de vapor teníamos una lumbrera en cada extremo. La tubería de admisión conduce al gas hasta la válvula de admisión, que es la izquierda en la figura. La válvula de escape permite la salida de los gases al aire libre, y en la figura es la derecha. En el extremo de la parte estrechada del cilindro, que se llama *cámara de combustión*, porque en ese lugar se realiza tal proceso térmico, se encuentra un orificio roscado donde se coloca una bujía de encendido. Esta bujía no es otra cosa que un par de electrodos entre los cuales saltará una crispa eléctrica en el momento oportuno, y producirá la combustión brusca del gas comprimido.

Detalles sobre elementos importantes

Debido a que la mayoría de los motores de combustión tienen más de un cilindro, se em-

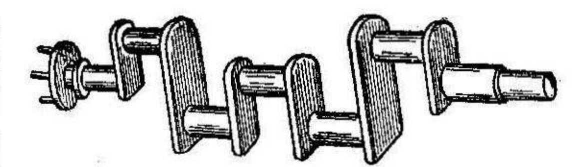


Fig. 60. — Vista del cigüeñal de un motor a gas.

plean los ejes acodados o cigüeñales, cuya ilustración simplificada se puede ver en la figura 60. Recordemos el mecanismo de biela y manivela mediante el cual, en los motores a vapor, se transformaba el movimiento rectilíneo alternativo del émbolo en uno circular del eje motriz. Ahora reemplazamos la manivela por una sección acodada del cigüeñal, y habrá tantas secciones acodadas como cilindros tenga el motor. Las partes de ejes que quedan alineados en el centro, como son los dos extremos y el trozo central, giran dentro de cojinetes llamados *de bancada*. Los trozos de eje que quedan fuera del alineamiento corresponden a las bielas, y son los cuatro que se ven en la figura 60, el segundo, el tercero, el quinto y el sexto a partir desde la izquierda.

Cada biela queda así articulada por un extremo, con el perno del pistón y por el otro con el trozo de eje cigüeñal. Se comprende de inmediato que el movimiento del pistón, rectilíneo alternativo, se transforma en un movimiento circular del eje geométrico del cigüeñal, que pasa a ser así el eje motriz. Para transmitir su movimiento rotativo a la rueda, máquina o dispositivo que deba accionarse, el cigüeñal debe acoplarse, y la pieza con pernos salientes que aparece a la izquierda en la figura 60 tiene ese objeto. Es de hacer notar que no siempre se usa una pieza de esa forma.

Veamos ahora en la figura 61 uno de los pistones del motor. El agujero que vemos de fren-

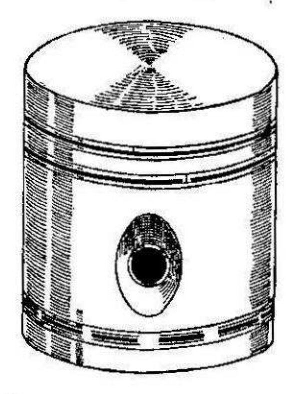


Fig. 61. — Vista del pistón y el orificio para el perno de la biela.

te es para el perno de la biela y habrá otro en la cara opuesta. En la parte superior vemos dos aros y en la inferior otro, que precisamente se llaman *aros*, y que tienen por objeto impedir que la presión que hay en la cámara de combustión sufra una pérdida por el pequeño es-

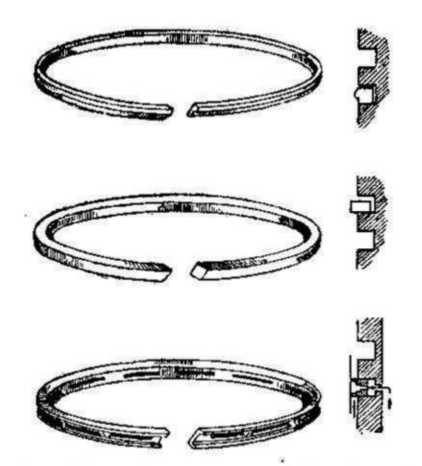


Fig. 62. — Tipos de aros para pistón. El inferior es el "rasca-aceite".

pacio entre el cilindro y el pistón. Además, como en ese espacio debe haber aceite lubricante, los aros se encargan de hacerlo deslizar.

Es interesante describir en detalle algunos de los modelos usuales de aros para pistones, y es lo que vemos en la figura 62. A la derecha hay unos cortes en detalle de cada tipo de aro en las paredes del pistón. Suele denominárselos de acuerdo con la superficie que resulta del corte y en algunos casos con nombres singulares, como el inferior de la figura que suele ser llamado *rasca aceite*.

Es de hacer notar que los pistones, bielas, aros, cigüeñal, etc., son piezas comunes a los motores de combustión interna, es decir a los de gas, de explosión, diesel, etc. Claro está que sus detalles serán adecuados a cada tipo de motor, y lo veremos en su oportunidad.

FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE CUATRO TIEMPOS

El motor que estamos describiendo, dentro de los del tipo a gas, se llama de cuatro tiempos, y esto porque un ciclo completo del funcionamiento se realiza en cuatro carreras del pistón. Veamos qué sucede en cada una de ellas:

En la figura 63 se ilustra esquemáticamente lo que sucede en cada tiempo o carrera. Se notan las válvulas, cuando se abren, y cuál está abierta o cerrada. Se indica también la dirección del movimiento del pistón:

1er. tiempo: Admisión. El pistón aspira los gases que entran por la válvula izquierda debido al efecto de succión que produce el pistón en el cilindro. Durante toda la carrera siguen entrando gases hasta llenar al cilindro. La válvula de admisión ha sido abierta por una leva acoplada al eje motor y con el ángulo conveniente.

2º tiempo: Compresión. El pistón camina hacia arriba y comprime los gases que están dentro del cilindro, pues la válvula de admisión ya está cerrada. La temperatura se elevaría mucho si no existiera la camisa de agua de refrigeración. La transformación que sufre el gas es adiabática, pues no hay intercambio de calor con el exterior. Durante toda esta carrera o tiempo, las dos válvulas están cerradas.

3er. tiempo: Expansión. Cuando el pistón llegó al punto muerto superior o límite de su carrera (en realidad, un poco antes de llegar) se produce una chispa en la bujía por medios eléctricos, y se origina la combustión espontánea de la mezcla gaseosa comprimida, dando origen a una brusca elevación de la presión que empuja al pistón hacia abajo. Este proceso se suele denominar *explosión,* aunque no es tal cosa lo que sucede, sino más bien una combustión brusca provocada por la chispa. Las dos válvulas continúan cerradas. (Al final de la carrera se suele abrir un poco antes la válvula de escape).

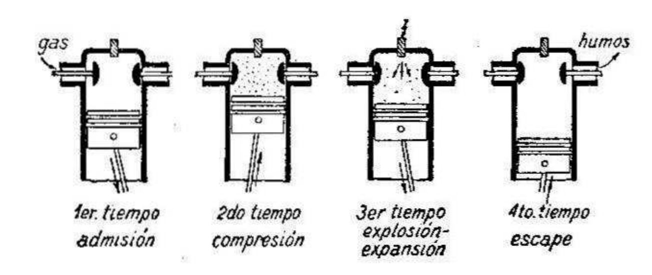


Fig. 63. — Esquema de los cuatro tiempos de un motor.

4º tiempo: Escape. Se abre en ese momento la válvula de escape, que es la derecha, accionada por una leva, y el pistón comienza su cuarta carrera, y segunda hacia arriba, impulsando a los gases que ya se han quemado a salir por la válvula de escape hacia el exterior. Al final de la carrera de escape se cierra esa válvula y se abre la de admisión, pues comienza en seguida el primer tiempo del ciclo subsiguiente.

Ciclo de trabajo

Los cuatro tiempos de funcionamiento del motor a gas, correspondiendo con las cuatro carreras del pistón, nos hacen ver un detalle muy importante, y es que sólo tenemos una carrera útil o motriz, y es la tercera, la de expansión. Durante las otras tres, el motor no produce trabajo útil, de modo que funciona por inercia, para lo cual se lo debe proveer de un volante

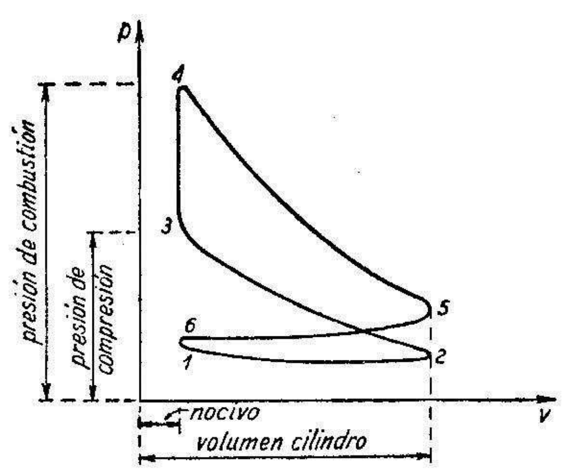


FIG. 64. — Ciclo de trabajo del motor de gas de 4 tiempos.

que acumule energía y le permita continuar la marcha durante las carreras no útiles. También puede construirse un motor con cuatro cilindros, por ejemplo, y hacer que durante cada tiempo se produzca una carrera útil en uno de los cilindros, y en uno sólo, a fin de que siempre se tenga una carrera con producción de trabajo; como hay cuatro cilindros, no se producirán tiempos inútiles, sino que serán todos motores, una vez por cada cilindro. Ésta es la razón de la generalización de los motores multicilíndricos, ya sea del tipo de explosión o del tipo de combustión espontánea.

La figura 64 muestra el ciclo de trabajo mediante el diagrama de presiones y volúmenes que ya conocemos. El punto 1 marca el comienzo del ciclo y el volumen que queda a la izquierda es el de la cámara de combustión, también llamado *espacio nocivo*. La admisión se hace a presión prácticamente constante, y está marcada por la curva 1-2, donde llegado al punto 2, final del primer tiempo, se cierra la admisión y comienza la carrera de compresión o segundo tiempo. Tenemos aquí, una compresión adiabática dada por la curva 2-3. En el punto 3 se produce la explosión o combustión brusca, debido a que se hizo trabajar el sistema de ignición y la chispa encendió la mezcla comprimida. La presión sube bruscamente hasta el punto 4 y comienza la expansión adiabática, dada por la curva 4-5. El tercer tiempo es el comprendido entre los puntos 3 y 5. En este último comienza el escape y con él el cuarto tiempo, que termina en el punto 6, que coincide con el 1, puesto que indica el comienzo de otro ciclo completo del motor.

En la figura se indican las presiones de compresión, producida por el pistón, y la de combustión, después de la explosión. La presión máxima llega a los 30 Kg/cm² y la media de todo el ciclo suele mantenerse alrededor de los 5 Kg/cm², para motores de tipo corriente. El rendimiento volumétrico, o relación entre espacio útil del cilindro y el total, es de un 80 % en líneas generales, llegando hasta el 90 % en los de marcha lenta. La cantidad de aire que se necesita para mezclar con el gas oscila entre 5 y 6 m³ por m³ de gas, aunque esta cantidad se puede elevar hasta 9 m³ por m³ de gas.

Gobierno de las válvulas

Las dos válvulas del motor de cuatro tiempos, no se abren y se cierran exactamente en los puntos muertos superior o inferior, es decir, exactamente cuando el pistón llega a uno u otro extremo del cilindro. Los dos puntos muertos corresponden a los casos en que la biela y la manivela están en una misma línea recta.

Conviene que la válvula de escape se abra cuando a la manivela le faltan recorrer unos 40 a 60 ° (ver Fig. 65) para llegar al punto muerto inferior, para que cuando el pistón comience su cuarta carrera no encuentre una contrapresión. Si la válvula se abriera exactamente en el punto muerto, los gases quemados tardarían un poco en empezar a salir, y como el movimiento del pistón es rápido se produciría una contrapresión, con pérdida de trabajo útil. El punto *A*, de la figura, marca el *avance al escape*, que se consigue adelantando la leva res-

pectiva que gobierna la válvula de escape. Además, cuando el pistón ha llegado al punto muerto superior de su cuarta carrera, no todos los gases quemados habrán salido, puesto que la

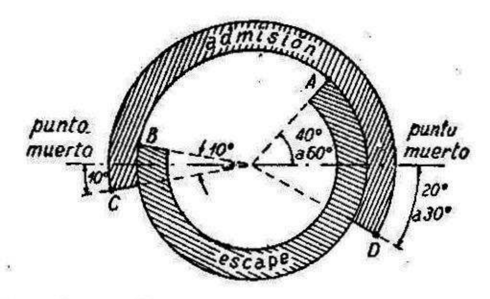


FIG. 65. — Gobierno de las válvulas en el motor de gas.

cámara de combustión contendrá una parte de los mismos. Para barrerlos, se aprovecha parte de la carrera de admisión, con lo que la entrada de gases nuevos expulsará al residuo de los quemados que hubiera. Por tal motivo la válvula de escape se retarda en su cierre unos 10° del ángulo de giro de la manivela, según se indica con el punto *B* en la figura.

Para aumentar la eficacia de la acción de expulsión del residuo de los gases de escape, y para que al empezar la admisión ya se encuentre en movimiento la columna gaseosa en la tubería, se abre la válvula de admisión unos 10° antes de que la manivela llegue a su punto muerto superior. Esto constituye el *avance a la admisión* y está indicado en la figura con el punto *C*. Una vez que el pistón llegó a su punto

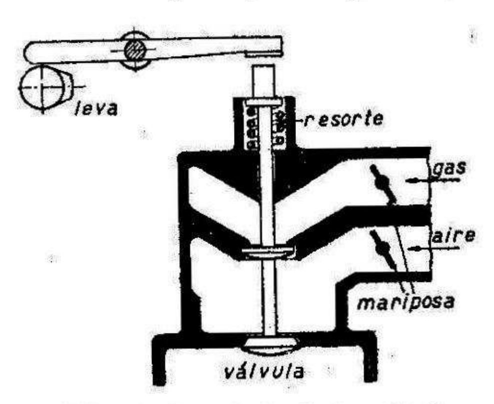


FIG. 66. — Accionamiento de las válvulas.

muerto inferior después de la primer carrera, se podría cerrar la válvula de admisión, pero por inercia, la columna de gases sigue entrando al cilindro si tal válvula se deja abierta. Por tal motivo, se aprovecha esta circunstancia para producir un mejor llenado del cilindro, y se retarda el cierre de la válvula de admisión unos 20 a 30° de giro de la manivela, mediante retraso de la leva respectiva (punto *D*).

Las válvulas tienen generalmente asiento cónico, para mejorar el cierre, y su gobierno se hace con leva y resorte (Fig. 66). El resorte la mantiene cerrada, pero al llegar la leva al ángulo fijado, empuja la palanca y ésta al vástago de la válvula, con lo que se abre el conducto. En la misma figura se ven los dos conductos de llegada del gas y del aire, con sus respectivas mariposas de regulación.

Regulación

Para graduar la potencia útil del motor, según la exigencia del mecanismo que él acciona, se pueden usar dos sistemas. Uno gradúa la cantidad y el otro la calidad de la mezcla que entra al cilindro. Para regular la cantidad, basta abrir o cerrar una mariposa intercalada en el conducto de admisión, después que se produjo la mezcla del aire con el gas. Para graduar la calidad de la mezcla, hay que abrir o cerrar sólo la mariposa de uno de los flúidos, el gas o el aire (Fig. 66). A mayor gas, o respectivamente, a menor aire, aumentará la potencia del motor, y viceversa. Este segundo sistema es más efectivo, porque la cantidad total de mezcla que entra al cilindro se mantiene constante, con lo que el rendimiento volumétrico será el mismo, y con ello el del motor variará poco.

Ignición

Los motores de gas, igualmente que los de explosión que emplean combustibles ligeros (nafta, bencina, etc.) emplean un dispositivo que produce una chispa en el momento que se consigue la compresión completa de los gases en el cilindro. Para que cuando el pistón llegue al punto muerto superior ya se haya producido la combustión de toda la mezcla comprimida en la cámara de combustión, se suele producir una chispa un poco antes de que el pistón llegue al punto muerto. Esto es lo que se llama: *avance de encendido*, y varía con el grado de compresión, el tipo de motor, y aun con el régimen de funcionamiento, en un mismo motor. Por tal motivo se provee a los motores de este tipo de un regulador de avance del encendido, a los efectos de graduarse ese ángulo en forma conveniente.

Para producir la chispa se emplean varios

sistemas, conocidos por sus denominaciones que atienden a la fuente de energía: a magneto de baja tensión, a magneto de alta, con ruptor o distribuidor, etc. Como el estudio de tales sistemas es el mismo que para los motores a explosión, lo trataremos en el capítulo 9.

FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE DOS TIEMPOS

La idea de aprovechar mayor número de tiempos o carreras del pistón en los motores de combustión interna, dio origen al motor de dos tiempos, en el cual una carrera es útil y la otra no. La figura 67 muestra un corte esquemático de un tipo de motor de gas de dos tiempos. En primer lugar se nota la carencia de válvulas, que son reemplazadas por lumbreras o aberturas, similares a las de las máquinas a vapor que ya hemos visto. En segundo lugar, la ubicación de tales lumbreras no es en el extremo del cilindro, sino en un punto intermedio entre ambos extremos. El pistón en su carrera abre y cierra a las lumbreras, permitiendo el acceso o la salida de gases al cilindro por ellas. Una de las aberturas es la de admisión y la otra la de escape, según se indican en la figura. Es importante hacer notar que, como falta la carrera de aspiración, en la cual se hacía funcionar al pistón como émbolo de una bomba, habrá que emplear una bomba auxiliar para hacer entrar en el cilindro a los gases, y al mismo tiempo barrer los gases ya quemados. La bomba auxiliar complica el motor, pero piénsese que su empleo ahorra dos carreras inútiles del pistón.

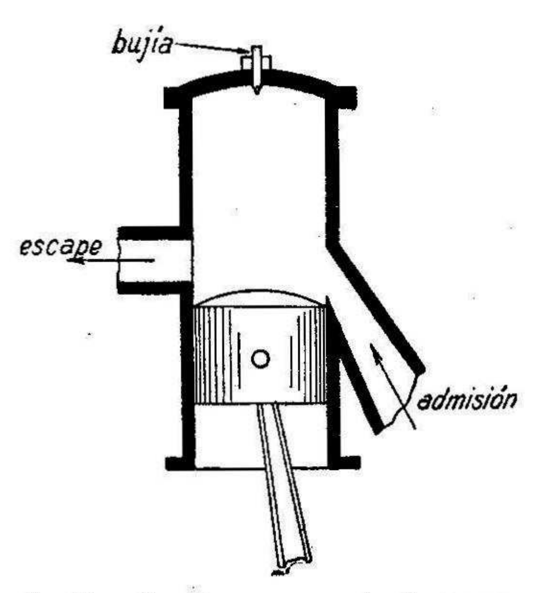


FIG. 67. — Corte de un motor de dos tiempos.

Para comprender el funcionamiento observamos la figura 68, en la que se dan cuatro esquemas simples de la posición del pistón en el cilindro, dos posiciones para cada carrera o tiempo. Tomemos la primera carrera, hacia arriba, cuando comienza la admisión, que en estos motores se substituye por la inyección del gas mediante una bomba, que al mismo tiempo provoca la expulsión o barrido de los gases de escape. El pistón comienza la carrera de compresión, y cuando cubre las lumbreras, cesa la entrada de gas al cilindro, y recién puede hablarse de compresión neta del gas. Al fin de esta carrera, el gas se encuentra fuertemente comprimido en la cámara de combustión, listo para que se produzca la chispa de ignición.

Comienza ahora el segundo tiempo o carrera del motor; en el instante en que se produce la chispa, se origina la combustión brusca de la mezcla, se eleva fuertemente la presión y comienza la expansión. El pistón es empujado hacia abajo, según se ve en el tercer esquema de la figura 68. Cuando se descubre la lumbrera de escape, comienza a salir por ella el gas, ya quemado, puesto que en el cilindro la presión es mayor que la atmosférica. Éste es el momento en que puede trabajar la bomba de inyección de combustible, pues la lumbrera de admisión está abierta, y la entrada del gas ayuda a barrer los gases de escape. Da comienzo, pues, nuevamente el primer tiempo del ciclo siguiente.

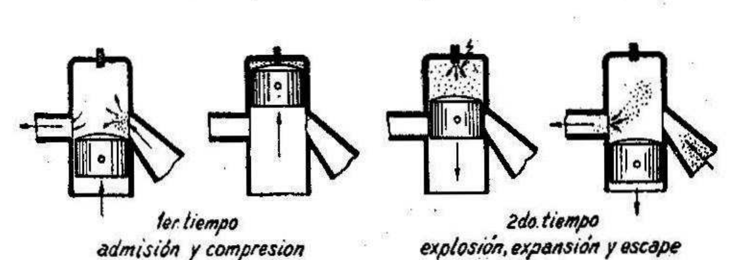


FIG. 68. — Esquema con los dos tiempos del motor.

Ciclo de trabajo

Veamos ahora el diagrama de presiones y volúmenes de un motor de dos tiempos, según se ilustra en la figura 69. El punto 1 marca el comienzo del primer tiempo, en el cual entran los gases al cilindro por impulsión de la bomba de alimentación. Desde el punto 1 hasta el 2, el pistón cumple una parte de su carrera y si-

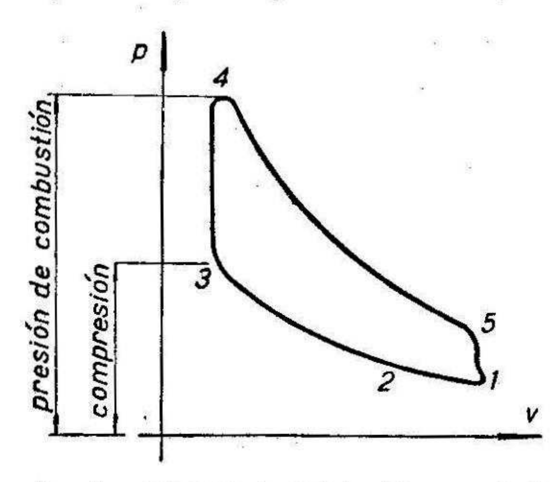


FIG. 69. — Diagrama de trabajo del motor de 2 tiempos.

gue entrando el gas. En 2 termina la admisión y comienza la compresión, que es aproximadamente adiabática, pues la camisa de refrigeración y el corto tiempo en que se realiza, permite suponer que no hay intercambio de calor con el exterior. El punto 3 marca el fin del primer tiempo y de la compresión.

Este es el momento en que se produce la chispa en el interior de la cámara de combustión (sin considerar el avance de encendido), con lo que la presión se eleva bruscamente hasta el punto 4, y aquí comienza la expansión adiabática, marcada por la curva 4-5. En el punto 5 se abre la lumbrera de escape, por lo que la presión desciende y termina la carrera y el segundo tiempo en el punto 1, a la presión atmosférica, y estando el motor listo para comenzar el primer tiempo del ciclo siguiente, igual al descripto.

Como resultado de la descripción dada, se nota en seguida que el tamaño del cilindro de los motores de dos tiempos debe ser mayor que el de los de cuatro para igual volumen útil, pero no hay que olvidar que hay doble número de carreras útiles.

Angulos de trabajo

Veamos el diagrama angular, que marca la apertura y cierre de las lumbreras de admisión y escape, según se ve en la figura 70. La lumbrera de admisión no debe abrirse hasta que la uresión en el cilindro haya bajado lo suficiente para que los gases que entran al cilindro no encuentren una contrapresión. Por tal motivo, el escape comienza antes que se descubra la lumbrera de admisión. El punto *A* marca el comienzo del escape y el *C* el fin del mismo. El ángulo de giro de la manivela, durante el cual permanece abierta la lumbrera de escape es de unos 100°.

Para evitar que los gases que entran al cilindro, una vez que han barrido totalmente a los gases quemados de escape, salgan por esa lumbrera, se debe cerrar la lumbrera de escape antes que la de admisión. Por eso, la admisión se cumple para un ángulo de la manivela de unos 90° comenzando en el punto *B*, pero terminando en el *D*, que es posterior al *C*, fin de escape.

El escape comienza unos 45 a 60° antes de que la manivela llegue al punto muerto inferior, y la admisión unos 20° nada más. Esta última termina después de pasar unos 70° de dicho punto muerto, según se ve en la figura.

Las bombas o sistemas de inyección del gas, o del aire al cilindro, se describirán en la parte correspondiente a motores Diesel, porque en tales tipos hay mayor variedad, y porque en la mayor parte de los motores de gas se emplea el ciclo de cuatro tiempos, lo mismo que en los

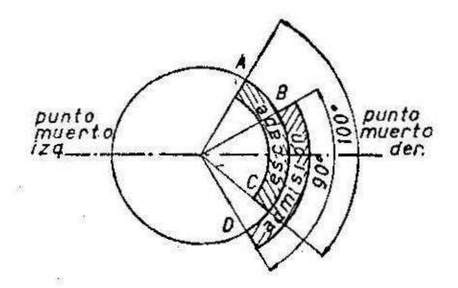


FIG. 70. — Angulos de trabajo para el motor de 2 tiempos.

de explosión a combustibles volátiles. El sistema de ignición no difiere del empleado en los motores de cuatro tiempos.

Finalmente, para completar el estudio de los motores a gas tenemos que ocuparnos de los generadores de gas, es decir, de los gasógenos.

GASOGENOS

Así como las máquinas de vapor necesitan una instalación auxiliar para la producción del vapor de agua que consumían en el funcionamiento, los motores de gas requieren una instalación de provisión de gas. En todas las explotaciones metalúrgicas se producen gases que pueden ser aprovechados para el accionamiento de motores, razón por la cual tal tipo de motores se encuentra a menudo en las fundiciones de los altos hornos, acererías, etc. Pero puede hacerse una instalación ex profeso para producir gas, y esa instalación se denomina *gasógeno.*

En esencia, un gasógeno es un dispositivo en el cual se quema con poco aire cualquier carbón de leña, antracita, turba, leña seca, etc., para producir gases de la combustión ricos en óxido de carbono e hidrógeno, que son excelentes combustibles. Al utilizar poco aire, se produce una combustión incompleta, por cuya razón hay fuerte producción de esos gases, que son los que se utilizan en los motores de gas. También se emplea el gas de agua, el gas de aire, el de alumbrado, el llamado gas pobre, etc. El gas pobre, muy empleado, se produce haciendo pasar una corriente de vapor de agua, mezclado con aire, por carbón incandescente. Si sólo se emplea vapor de agua, se tiene el gas de agua, y si la columna es de aire únicamente, el gas es de aire.

Una instalación típica de gasógeno de gran producción se ve en la figura 71, en forma esquemática. El funcionamiento es el siguiente: en una cuba se coloca el combustible (generalmente antracita o turba), y se lo hace arder, haciendo pasar una columna de aire por la masa incandescente. El gas obtenido de la combustión se conduce por tuberías al primer filtro, pues contiene una serie de materias en suspensión (partículas de carbón, cenizas, etc.) El filtro está formado por un gran cilindro con capas sucesivas de piedras, grava, gravilla, etc. El gas sube por la aspiración de la bomba, y sobre el filtro se hace caer una fina lluvia de agua, que lo lava. Una pequeña bomba mantiene el agua en circulación cerrada, volviendo la que cae a la base, a las lluvias posteriores. En esta forma se libra el gas de materias en suspensión, impurezas, alquitrán, etc.

De aquí pasa por otra tubería a un segundo filtro y finalmente va al depósito de utilización,

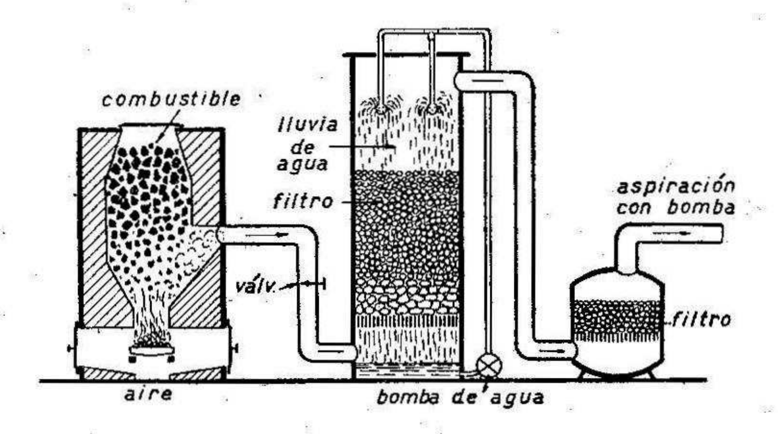


Fig. 71. — Instalación de gasógeno.

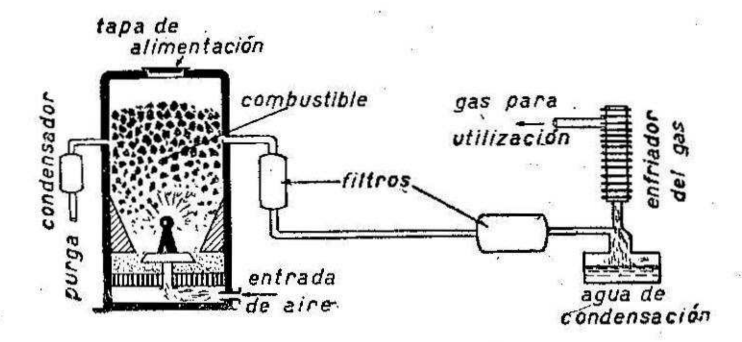


Fig. 72. — Gasógeno pequeño.

por aspiración mediante bombas. Según el tipo de combustible, se eligen materiales adecuados para los filtros, pues las impurezas del gas son muy variadas. Una válvula intercalada en la tubería permite regular la corriente gaseosa. La entrada de aire que figura en el gráfico puede ser única, o tener también una boca de vapor de agua, en el caso que se desee producir gas mixto o pobre. Si sólo entra vapor de agua tendremos gas de agua.

Al salir del gasógeno, el gas debe ser enfriado, porque si mantiene una temperatura elevada, su volumen es mayor y el llenado del cilindro del motor es imperfecto.

El combustible empleado no debe contener más de 50 % de humedad, lo que se cumple bien para la antracita, lignitos y la turba. La temperatura de trabajo se mantiene casi siempre dentro de los 1000° C. Normalmente se obtienen de 3 a 4 m^3 de gas pobre de cada Kg de carbón de piedra. Si se emplea vapor de agua, se requieren unos 400 a 500 gr por Kg de carbón, a los que se agregan unos 4 a 5 m^3 de aire.

La figura 72 muestra una instalación simple de gasógenos portátiles, empleados en vehículos con motores de explosión alimentados a gas. El combustible empleado es generalmente leña seca o carbón vegetal en trozos. El recipiente principal está provisto de una tapa de alimentación en la parte superior, una parrilla para el combustible y una entrada de aire en la parte inferior, la que debe poder ser regulada. En un costado tiene un condensador del vapor y una purga. En la tubería de gas hay intercalados dos filtros, para liberar al gas de sus impurezas. Finalmente se coloca un radiador para enfriar el gas, a efectos de comprimirlo y lograr un buen llenado de los cilindros del motor. En la parte inferior del enfriado a aire, hay un depósito para el agua de condensación. La aparición de vapor de agua en el gas se explica si se piensa que el tipo de combustible empleado tiene un porcentaje de humedad, especialmente en el caso de la leña.

Datos sobre motores de gas, horizontales, monocilíndricos, de cuatro tiempos

Potencia C. V.	*Diámetro cilindro mm*	*Carrera mm*	*Velocidad r.p.m.*	*Consumo de carbón de piedra en el gasógeno gr/C.V. hora*
20	240	360	330	460
25	270	390	270	440
30	290	420	240	430
40	320	470	250	400
50	370	500	215	400
75	460	540	190	380
100	500	610	190	380

Datos sobre motores de gas, verticales, multicilíndricos, de cuatro tiempos

Consumo de antracita en gasógeno, unos 390 gr por C.V. hora

Potencia C. V.	*Número de cilindros*	*Diámetro cilindro mm*	*Carrera mm*	*Velocidad r.p.m.*
50	1	360	480	250
100	2	360	480	250
150	3	360	480	250
200	4	360	480	250
300	4	420	560	220
400	4	480	640	200
600	6	480	640	200

Día 7

Ya hemos visto el primer tipo de motores a combustión interna, que es el motor a gas, aunque en realidad no puede decirse que la totalidad de la combustión se produce en el cilindro del motor. Primero hay que obtener el gas, y salvo que se trate de gas natural, hay que producirlo mediante una combustión. En rigor deberíamos llamar a los motores de gas como de doble combustión. Pero estudiando el motor en sí, sabemos que se introduce gas en el cilindro, y eso es lo que cuenta.

Es importante anotar que los motores a explosión, de los que nos ocuparemos ahora, guardan cierta similitud con los de gas, e inclusive el aspecto de sus partes puede ser confundido. Lo que no pasa con los de gas es la gran difusión que han alcanzado los de explosión, por lo que se les ha introducido una serie de variantes y otra de perfeccionamientos. Los mayores contribuyentes a esos hechos son los fabricantes de automotores, gran parte de los cuales usan motores a explosión, y los diseñadores de aviones, que también los emplean. No obstante, la tendencia moderna es reemplazar los motores de ese tipo en unos y otros, ya que en aviación se impone el motor a reacción y en automóviles se habla ya de los motores a turbina. . .

MOTORES A EXPLOSION

Para llegar al motor a explosión tenemos una evolución histórica de cerca de 300 años desde el primitivo motor a pólvora hasta el motor de Otto, entre 1652 y 1878, desde donde arranca el perfeccionamiento de este último hasta nuestros días. La evolución derivó en su camino otros tipos de motores como los de vapor, de gas y los Diesel.

La diferencia substancial entre los motores de vapor o de gas y los de explosión o Diesel es que los del primer grupo tienen un generador externo, sea una caldera o un gasógeno, mientras que los segundos gasifican el combustible dentro mismo del motor. Por tal motivo se los diferencia con los nombres de motores a combustión externa y motores a combustión interna. Sin embargo debe hacerse notar que si bien los motores a vapor son específicamente a combustión externa por quemarse el combustible en el hogar y producir vapor en una caldera independiente, la mayor parte de los motores a gas tienen dos combustiones: una externa y otra interna. La primera es para gasificar un combustible sólido o líquido y poder llevarlo así a los cilindros del motor y la segunda para producir la transformación de energía térmica en mecánica dentro del cilindro. Pero volvamos a nuestros motores a explosión.

Clasificación de motores a explosión

Hay dos formas de clasificar los motores a explosión, que puede extenderse a otros tipos de motores y se apoyan en la subdivisión según la cantidad de cilindros, o la de tiempos de funcionamiento.

Atendiendo al número de cilindros, que es la clasificación popularizada, hay motores *monocilíndricos* y *policilíndricos*. Estos últimos pueden ser de dos o más cantidad, no habiendo regla fija, pues encontramos motores de automóviles con 2, 4, 6, 8, 12 y 16 cilindros y motores de aviación con cantidades impares. Ultimamente también los hay para automóviles (DKW).

Dentro de la clasificación por el número de cilindros cabe una designación atendiendo a la posición recíproca de los mismos, pues pueden estar en línea, en V o en forma radial. Los motores en línea tienen todos sus cilindros, unos detrás de otros, en sucesión recta. Los motores

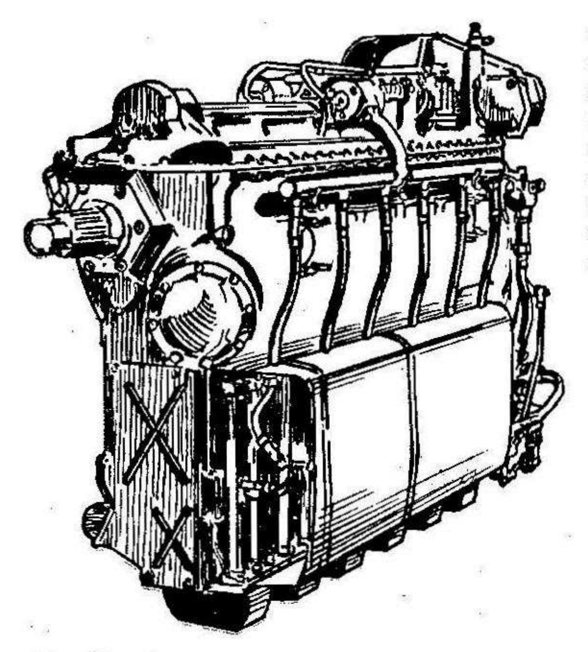


Fig. 73. — Motor a explosión con 6 cilindros en línea de la *De Haviland.*

en V agrupan los cilindros alineados en dos mitades, formando cada una de ellas un plano que guarda un ángulo con el otro; y los motores radiales tienen todos sus cilindros en un mismo plano, pero con sus ejes concurriendo en un punto como si fueran los rayos de una rueda.

Atendiendo a la clasificación por los tiempos de funcionamiento hay motores de 2 y 4 tiempos. En realidad el ciclo de funcionamiento cumple similar proceso en ambos, pero en los de dos tiempos dicho ciclo ocupa 2 carreras del pistón, mientras que en los otros ocupa 4.

Es interesante observar el aspecto exterior de los motores a explosión atendiendo a la clasificación anterior. Por lo tanto, el número de ciclos de funcionamiento será estudiado en detalle, de manera que tendremos oportunidad de familiarizarnos con los dibujos respectivos. Por razones de orden en la explicación, veamos el aspecto exterior de los tres tipos de motores multicilíndricos mencionados antes, pues los casos de motores monocilíndricos serán usados para la descripción simplificada de su funcionamiento.

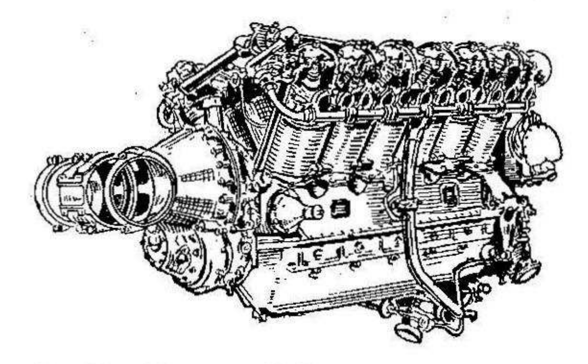


Fig. 74. — Motor a explosión con 12 cilindros en V (6 y 6) de la *Rolls Royce.*

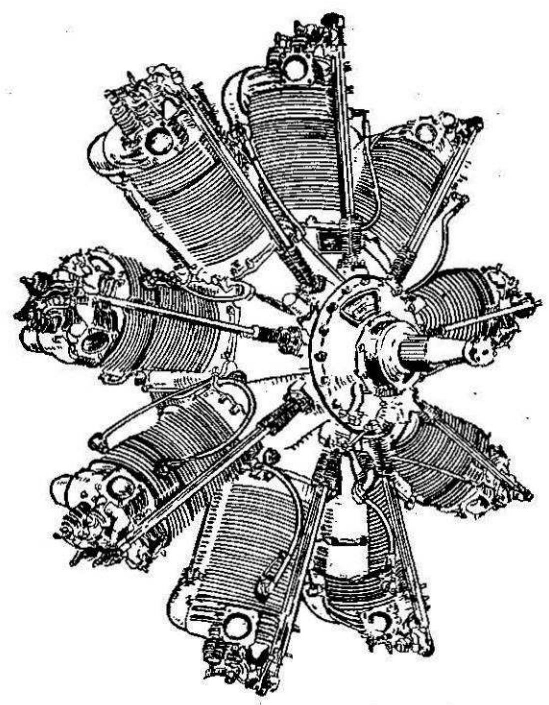


Fig. 75. — Motor radial de aviación con 9 cilindros de la *Bristol.*

Veamos en primer lugar un motor policilíndrico en línea, figura 73, que tiene seis cilindros verticales alineados. Es una unidad tipo Haviland de enfriamiento por aire, y más adelante veremos detalles interiores.

La figura 74 muestra un motor de doce cilindros en V, o sea que están dispuestos seis en un plano y seis en otro. Ambos planos guardan un ángulo entre sí. Se trata de un motor Rolls Roice antiguo, pero se ha elegido la ilustración porque se notan mejor los cilindros, cosa que no ocurre en los modelos más modernos.

La figura 75 nos muestra un motor tipo radial, en el cual los cilindros están dispuestos como los rayos de una rueda. Por idénticas razones se ilustra un modelo antiguo, para notar mejor los cilindros, que son nueve en este caso. Obsérvese las paredes exteriores de los cilindros,

que tienen unas aletas salientes para aumentar la superficie de enfriamiento. El dibujo corresponde a un modelo Bristol para aviones comerciales.

En la parte superior del pistón se notan unas rayas transversales que esquematizan los *aros* de cierre (recordar lo visto en motores a gas).

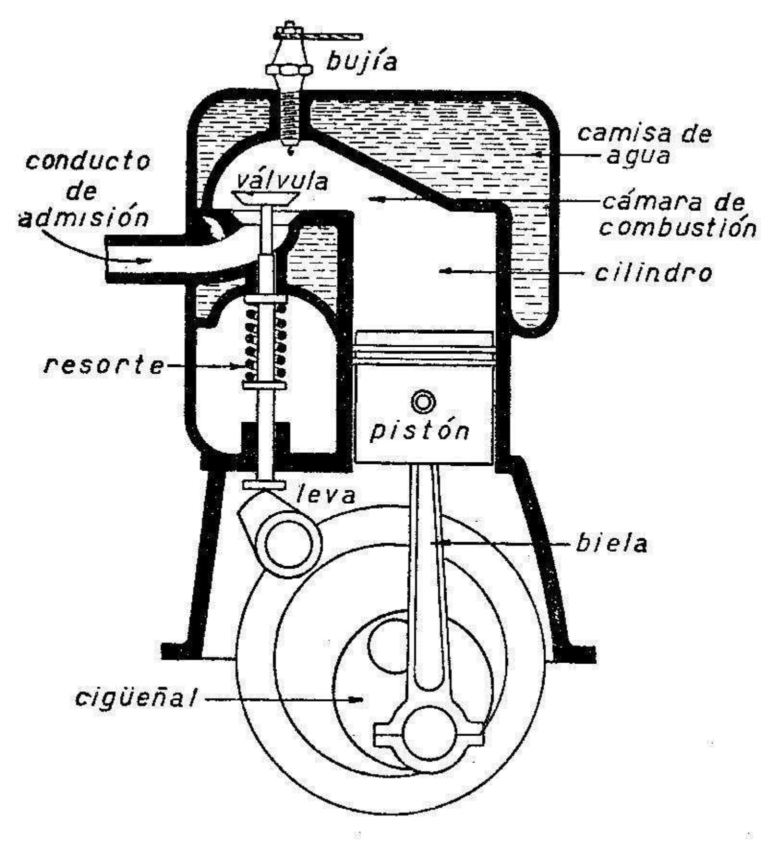


FIG. 76. — Corte de un motor a explosión.

Ahora pasaremos a explicar el funcionamiento del motor a explosión, comenzando por el de cuatro tiempos, que es el más difundido.

EL MOTOR DE CUATRO TIEMPOS

Para explicar el funcionamiento de un motor nos remitiremos a la figura 76, que muestra un corte de uno de los modelos. Las partes importantes que integran un cilindro con todos sus accesorios están indicadas en la figura. El *pistón* (Fig. 77) es un cuerpo cilíndrico que se desliza dentro del cilindro empujando en su marcha a una barra articulada o *biela* que hace girar a un eje acodado o *cigüeñal*. También suele llamarse *manivela* la porción de cigüeñal que corresponde a cada biela.

Rodeando al cilindro hay un espacio que contiene agua en circulación al efecto de enfriar las paredes del mismo.

Son arandelas metálicas cortadas que tienen por misión cubrir el sutil intersticio entre el pistón y el cilindro, impidiendo que los gases de la cámara de combustión escapen hacia abajo y que

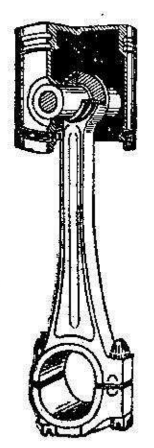


FIG. 77. — Pistón y biela de un motor a explosión. El pistón se ve en corte para observar el perno interior.

el aceite de lubricación que arrastra el pistón desde la parte inferior entre en la cámara de combustión.

En la parte superior encontramos dos orificios que comunican al cilindro con sendos conductos: el de *admisión* y el de *escape*. En la figura 76 sólo vemos una, pues la otra está detrás. La comunicación está obstruída por válvulas mantenidas por resortes. En esta misma parte hay un recinto anexo al cilindro que se denomina *cámara de combustión*, en el cual se encuentra la *bujía*, que tiene dos electrodos aislados entre sí, entre los cuales se hará saltar una chispa en el momento en que debe comenzar la combustión.

La tubería de admisión procede del carburador y por ella llega la mezcla carburante de aire y nafta que entrará al cilindro cuando se abra la válvula y el pistón en movimiento descendente produzca una succión que se llama *aspiración*.

El conducto de escape permite la salida de los gases quemados hacia la atmósfera cuando se abre la válvula correspondiente y el pistón en movimiento ascendente los empuja hacia afuera, operación que se denomina *escape*.

Veamos ahora lo que ocurre en las cuatro carreras del pistón en el motor de cuatro tiempos, ayudados con la figura 78. En el primer tiempo el pistón tiene su carrera descendente, la válvula de admisión está abierta y la de escape cerrada. La succión del pistón hace entrar al cilindro la mezcla de aire y nafta pulverizada, de la cual nos ocuparemos detalladamente más adelante. Durante esta carrera el pistón pasa de su punto muerto superior al punto muerto inferior, y el proceso se llama *aspiración*.

Por inercia, el pistón pasa al punto inferior y comienza a subir, ya que la biela lo empuja. Comienza el segundo tiempo o sea el de compresión de la mezcla aspirada. Las dos válvulas permanecen cerradas, y cuando el pistón llega al punto muerto superior se ha producido la compresión máxima de la mezcla carburante.

Comienza ahora el tercer tiempo o carrera, produciendo una chispa en la bujía, con lo cual la mezcla comprimida entra en combustión brusca, y se produce una fuerte *expansión*, que obliga al pistón a realizar su carrera descendente. Esta es la carrera útil del motor, tal como lo estudiamos para los motores a gas. Llegado el pistón al punto muerto inferior, termina la expansión y comenzará el *escape*.

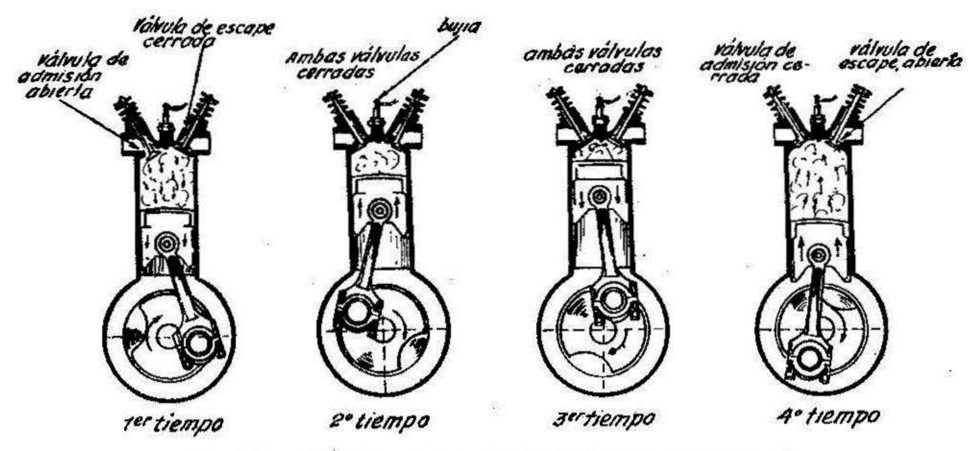


Fig. 78. — El ciclo de 4 tiempos en un motor a explosión.

Este cuarto tiempo del motor es la carrera de barrido de gases quemados, por lo que la válvula de escape debe abrirse. Cuando el pistón llega al punto muerto superior termina el *escape*, se abre la válvula de admisión y comenzará un nuevo ciclo, o sea nuevamente el primer tiempo del motor.

Los cuatro tiempos de funcionamiento del motor, correspondientes con las cuatro carreras del pistón, nos hacen ver un detalle muy importante, y es que sólo tenemos una carrera útil o motriz, y es la tercera, la de expansión. Durante las otras tres el motor no produce trabajo útil, de modo que funciona por inercia, para lo cual se lo debe proveer de un volante que acumule energía y le permita continuar la marcha durante las carreras no útiles. También puede construirse un motor con cuatro cilindros, por ejemplo, y hacer que durante cada tiempo se produzca una carrera útil en uno de los cilindros, y en uno sólo, a fin de que siempre se

tenga una carrera con producción de trabajo; como hay cuatro cilindros no se producirán tiempos inútiles, sino que serán todos motores, una vez por cada cilindro. Esta es la razón de la generalización de los motores multicilíndricos ya sea del tipo de explosión o del tipo de combustión espontánea.

Gobierno de las válvulas

Las dos válvulas del motor de cuatro tiempos, no se abren y se cierran exactamente en los puntos muertos superior o inferior, es decir, exactamente cuando el pistón llega a uno u otro extremo del cilindro. Los dos puntos muertos corresponden a los casos en que la biela y la manivela están en una misma línea recta en la figura 78.

Conviene que la válvula de escape se abra cuando a la manivela le faltan recorrer unos 48° (ver Fig. 79) para llegar al punto muerto

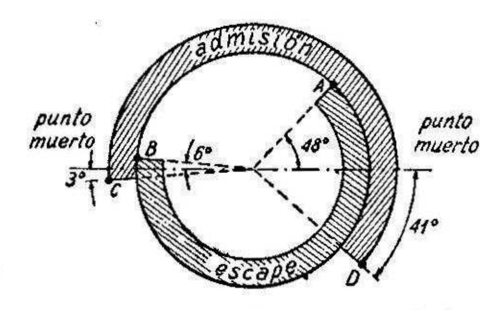


FIG. 79. — Regulación de los avances y retardo en la admisión y el escape de un motor a explosión de cuatro tiempos.

inferior, para que cuando el pistón comience su cuarta carrera no encuentre una contrapresión. Si la válvula se abriera exactamente en el punto muerto, los gases quemados tardarían un poco en empezar a salir, y como el movimiento del pistón es rápido, se produciría una contrapresión con pérdida de trabajo útil. El punto *A* de la figura marca el *avance* al escape, que se consigue adelantando la leva respectiva que gobierna la válvula de escape. Además, cuando el pistón ha llegado al punto muerto superior de su cuarta carrera, no todos los gases quemados habrán salido puesto que la cámara de combustión contendrá una parte de los mismos. Para barrerlos se aprovecha parte de la carrera de admisión, para que al empezar la misma, con la entrada de gases nuevos, se expulsará al residuo de los quemados que hubiera. Por tal motivo la válvula de escape se retarda en su cierre unos 6° del ángulo de giro de la manivela, según se indica con el punto *B* en la figura.

Para aumentar la eficacia de la acción de expulsión del residuo de los gases de escape, y para que al empezar la admisión ya se encuentre en movimiento la columna gaseosa de la tubería, se abre la válvula de admisión unos 3° antes de que la manivela llegue a su punto muerto superior. Esto constituye el *avance a la admisión* y está indicado en la figura con el punto *C*. Una vez que el pistón llegó a su punto muerto inferior después de la primer carrera, se podría cerrar la válvula de admisión, pero por inercia, la columna de gases sigue entrando al cilindro si tal válvula se deja abierta. Por tal motivo, se aprovecha esta circunstancia para producir un mejor llenado del cilindro, y se retarda el cierre de la válvula de admisión unos 41° de giro de la manivela, mediante retraso de la leva respectiva. En la figura esto lo indica el punto *D*.

En resumen, puede sintetizarse el proceso diciendo que al comenzar el primer tiempo, cuando el pistón está en el punto muerto superior, la válvula de admisión ya está abierta y la de escape aún no se cerró, a fin de que al entrar el gas (mezcla de aire y nafta) barra el residuo de gases quemados. Al final de la primer carrera, y llegar el pistón al punto muerto inferior, la válvula de admisión no se cierra, sino que recién lo hace cuando la manivela ha girado un ángulo de 41° y el pistón está subiendo, para aprovechar la inercia de la columna gaseosa que sigue entrando durante ese intervalo. Y finalmente, al terminar el tercer tiempo, cuando el pistón llega al punto muerto inferior y ha terminado la expansión, la válvula de escape se abre antes de ese momento, para evitar que al comenzar a subir el pistón encuentre una contrapresión.

Ciclo de trabajo

Tal como lo hicimos para otros motores descriptos con anterioridad, podemos trazar el diagrama de presiones y volúmenes para el motor a explosión de cuatro tiempos, y es el que vemos en la figura 80. La curva cerrada resultante tiene su explicación, de acuerdo con los conocimiento sobre termología del tercer capítulo. Veamos esa explicación.

La admisión se hace a presión prácticamente constante y está marcada por la curva 1-2, donde llegado al punto 2, final del primer tiempo, se cierra la admisión y comienza la carrera de compresión, o segundo tiempo. Tenemos aquí

una compresión adiabática, dada por la curva 2-3. En el punto 3 se produce la explosión o combustión brusca, debido a que se hizo traba-

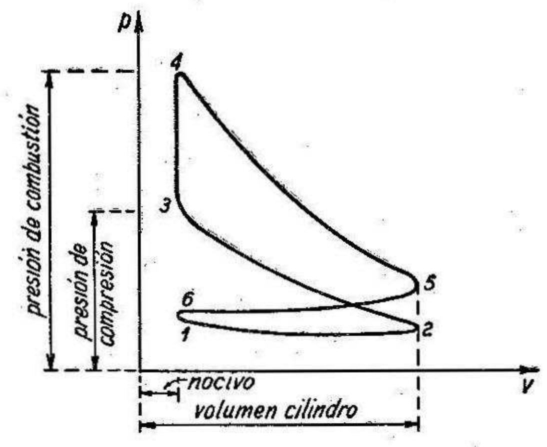


Fig. 80. — Diagrama de presiones resultantes en un motor a explosión de cuatro tiempos.

jar el sistema de ignición y la chispa encendió la mezcla comprimida. La presión sube bruscamente hasta el punto 4 y comienza la expansión adiabática, dada por la curva 4-5. El tercer tiempo es el comprendido entre los puntos 3 y 5. En este último comienza el escape y con él el cuarto tiempo, que termina en el punto 6, que coincide con el 1, puesto que indica el comienzo de otro ciclo completo del motor.

Ignición o encendido

En los motores de explosión se necesita producir una chispa en el cilindro en el preciso instante en que la mezcla de combustible gasificado y aire está comprimida al máximo de presión. Ahora bien, como la chispa debe provocar la brusca combustión en el instante en que el pistón llega al punto muerto superior, y como esa combustión tarda un instante en propagarse a toda la masa gaseosa, debemos producir la chispa un instante antes de llegar el pistón al punto muerto superior. Ese adelanto en la producción de la chispa se llama: *avance del encendido* y es variable con el grado de compresión, con el tipo de motor y también con el régimen de funcionamiento para un motor dado. Hace falta, entonces, proveer al motor de la posibilidad de regulación del avance del encendido, lo que puede hacerse a mano o en forma automática.

Para producir la chispa se emplean varios sistemas, conocidos por sus denominaciones que atienden a la fuente de energía: a magneto de baja tensión, a magneto de alta, con ruptor o distribuidor, etc. Oportunamente se volverá sobre ello.

El motor monocilíndrico completo

Una vez estudiados los ciclos del motor de cuatro tiempos, y conociendo sus partes integrantes, es conveniente tomar un motor completo y ver su interior, para familiarizarnos con la ubicación de cada una de esas partes. La figura 81 nos muestra un motor típico de motocicleta, con enfriamiento a aire, por lo cual las paredes exteriores del cilindro tienen aletas salientes. Lo más interesante que podemos destacar allí son las dos válvulas, de admisión y de escape, contenidas contra los orificios por acción de sendos resortes; las válvulas abren para adentro, de manera que para librar el conducto de admisión o el de escape a los gases hay que empujar su válvula respectiva para adentro. De ello se encarga el balancín, que es accionado por la leva empujando a un botador. La leva tiene una forma excéntrica y gira accio-

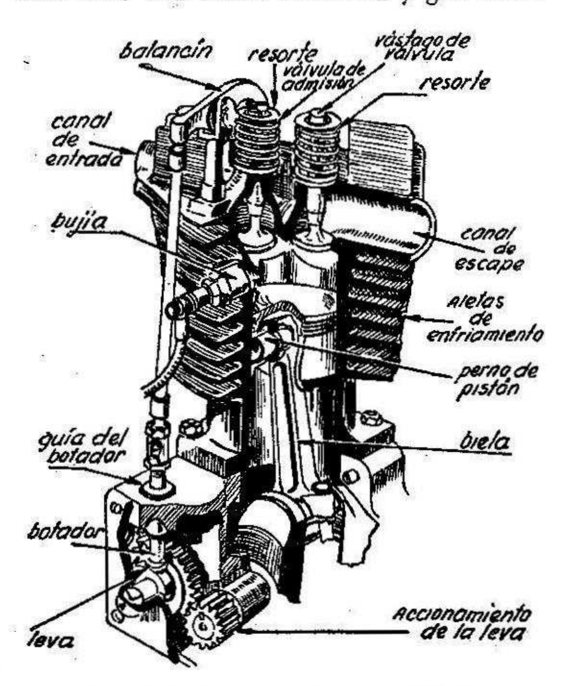


Fig. 81. — Corte de un motor monocilíndrico mostrando sus diversas partes.

nada por un juego de engranajes movidos por el eje cigüeñal. Se ha dibujado solamente el juego completo para la válvula de admisión, pero hay otro igual para el escape.

Como es interesante la acción de la leva, mostraremos un detalle en la figura 82, donde pueden verse las posiciones relativas para válvula abierta y cerrada, respectivamente. Si la posición de válvula abierta, dibujo de la izquierda,

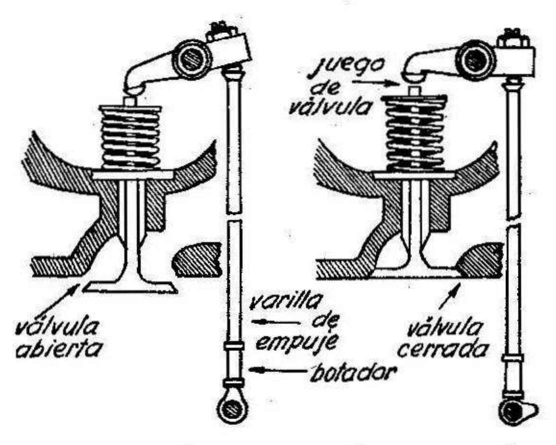


Fig. 82. — Detalle del accionamiento de la válvula por la leva; a la izquierda válvula abierta y a la derecha cerrada.

se arregla de manera que la leva abra la válvula en un momento que no coincide con el punto muerto extremo del pistón, sino que ocurra un poco antes o un poco después, tenemos el avance o el retardo que hemos explicado anteriormente.

Motores policilíndricos

La figura 76 nos mostró el corte de un motor a explosión, del tipo vertical comúnmente empleado en los vehículos. En dicho corte sólo se ve la válvula de admisión, pues la de escape está ubicada inmediatamente detrás de ésta. Obsérvese la forma de la cámara de combustión, bastante diferente a la de los motores de gas, y la ubicación de las válvulas, cuyo vástago es de eje paralelo al del cilindro, mientras que en los de gas era perpendicular. La parte del cilindro que está en contacto con los gases de la combustión está convenientemente refrigerada por circulación de agua. En los vehículos el agua de refrigeración se hace circular por un radiador, colocado en la parte delantera y expuesto a la corriente de aire producida por la marcha; de esta manera el agua, a su vez, se enfría y vuelve a la circulación.

En la parte superior y central de la cámara de combustión se halla la bujía encargada de producir la chispa eléctrica en el momento que debe comenzar la combustión. A esta bujía llega un cable proveniente del circuito de ignición.

La válvula es circular, de asiento cónico y está sostenida por un resorte que se comprime cuando la leva empuja al vástago de la válvula, durante los períodos de admisión y escape para las respectivas válvulas. Hay entonces dos levas por cada cilindro, y todas fijas a un árbol de levas accionado por el árbol motor o cigüeñal.

Hasta aquí hemos supuesto que los motores a explosión tenían un solo cilindro, pero recordando que se usan preferentemente los de cuatro tiempos, y que en ellos hay una carrera motora, salta a la vista la conveniencia de disponer por lo menos de cuatro cilindros, y de tal modo que en cada carrera del conjunto haya un tiempo motor. Habiendo cuatro cilindros, es fácil distribuirlos de modo que no coincidan sus tiempos motores.

Veamos un motor de cuatro cilindos cuyo corte esquemático se ilustra en la figura 83. La construcción más usada coloca el cigüeñal de tal modo que los dos pistones centrales quedan apareados. En la figura se ha ubicado en uno de los cilindros las dos válvulas, de admisión y de escape, y la bujía de encendido. Los demás

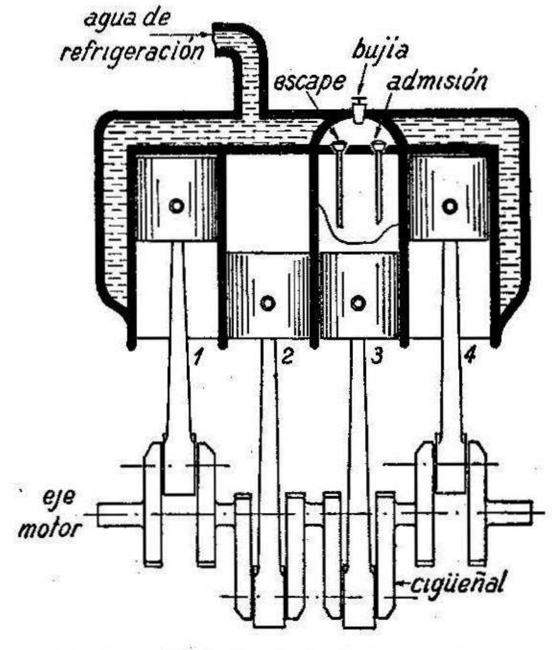


Fig. 83. — Corte longitudinal de un motor a explosión policilíndrico.

cilindros también tienen esos tres elementos, ubicados en lugares semejantes. El conducto de refrigeración es común a todos los cilindros, lo mismo que la tubería de admisión, el carbura-

dor y el conducto de escape. Las dos tuberías tienen derivaciones que comunican con cada cilindro mediante sus respectivas válvulas. El cigüeñal está acoplado al árbol que tiene ocho levas, y sus desplazamientos angulares se hacen convenientemente.

Un problema que surge inmediatamente es saber cómo se hará la distribución de aperturas y cierres de válvulas, y el orden de producción de chispas para que se tenga una carrera útil, y una sola, en cada media vuelta del cigüeñal. Veamos cómo se resuelve esto; la figura 84 nos ayudará a comprenderlo. Se han dibujado esquemáticamente las cuatro posiciones del cigüeñal, en cada una de las cuales los pistones ocupan las posiciones que se ven en la figura. Llamamos a los tiempos en orden de 1 a 4, refiriéndonos a uno de los cilindros. Asimismo, numeramos los pistones 1 a 4. Supongamos que en un instante dado se produce la chispa en el cilindro 1, donde la mezcla estaba comprimida. En el cilindro 4 el pistón está arriba, por lo que debe comenzar en él la admisión, ya que no puede ser la expansión, que tendrá lugar en el cilindro 1. En otros dos cilindros da comienzo la compresión y el escape, pero, ¿en cuál de ellos una cosa y en cuál la otra? En el 2 el escape y en el 3 la compresión. Las flechas entrantes indican admisión y las salientes escape. Las válvulas de admisión están entonces a la derecha y las de escape a la izquierda, en cada cilindro.

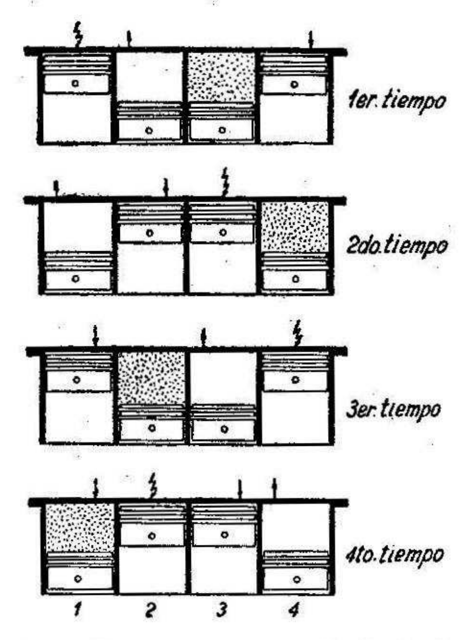


Fig. 84. — Diagrama que muestra la distribución del encendido.

Veamos lo que sucede media vuelta de cigüeñal más tarde. En el cilindro 1 terminó la expansión, por lo que debe comenzar el escape; en el 2 terminó el escape, por lo que debe comenzar la admisión; en el 3 la mezcla está comprimida y debemos producir la chispa, y en el 4 tenemos el cilindro lleno, y comienza la compresión. Al final de esta carrera tenemos el comienzo del tercer tiempo, según la figura. Se ve claro que la chispa la necesitamos en el cilindro que comprimió en el tiempo anterior, que era el 4. Además, debemos abrir la válvula de admisión en el 1, porque terminó allí el escape, y abrir la de escape en el 3, puesto que ha finalizado en él la expansión. El cilindro 2 comprime durante esta tercer carrera. Llegamos de esta manera a la cuarta carrera y última del ciclo completo del motor. En ella vemos que la mezcla está comprimida en el cilindro 2, de modo que ahí hace falta la chispa. En el cilindro 1 tenemos compresión de la mezcla aspirada durante el tiempo anterior. En el 3 terminó el escape de manera que abrimos la válvula de admisión, y en el 4 finalizó la expansión por lo que abrimos el escape.

La descripción anterior no contempla los avances y retardos en el escape y en la admisión, así como el avance al encendido, para evitar las complicaciones que surgirán en la interpretación del fenómeno. Lo que resulta evidente es que el orden cíclico de funcionamiento, que puede ser referido al orden de encendido de las chispas en los cilindros, es el siguiente:

1, 3, 4, 2

Que se cumple en todos los ciclos subsiguientes, y que es el tipo de ordenación utilizada en los motores a explosión de uso en la Técnica.

Los motores de mayor número de cilindros se emplean para obtener mejor compensación de las fuerzas de inercia de las partes móviles, que en los de cuatro no se compensan mutuamente. En los de seis se consigue un equilibrio perfecto. Los de ocho pueden ser con todos alineados o en V, así llamados los que consisten en dos motores de cuadro cilindros, con un cigüeñal común, y formando cierto ángulo entre sus sistemas de ejes. Lo mismo tenemos para los de mayor número de cilindros, como ser 12 y 16, que pueden ser de construcción *en línea* o en V.

El orden de encendido de los motores de más de cuatro cilindros se puede deducir en forma similar a lo que hicimos para los de cuatro, pero

es fácil imaginar que resultará algo más complicado. Tales órdenes son:

Para motores de seis cilindros:

1, 5, 3, 6, 2, 4

Para motores de ocho cilindros:

1, 6, 2, 5, 8, 3, 7, 4

Para motores de doce cilindros:

1, 4, 9, 8, 5, 2, 11, 10, 3, 6, 7, 12

Con cuyos datos es fácil ajustar el orden de encendido, apertura y cierre de las válvulas.

Hermeticidad del motor

Hemos dicho que en la cámara de combustión se produce una elevación brusca de la presión, y que para no perder parte de esa presión se colocaban aros a los pistones. Las válvulas asientan en orificios conificados para mejorar el cierre. Pero no hay que olvidar que el bloque de cilindros no puede ser una sola pieza, que tiene una tapa, la cual debe asegurar también la hermeticidad del cierre. La figura 85 nos muestra la forma como se consigue esa hermeticidad.

Entre la tapa y la base superior del bloque se coloca una junta especial, hecha con una lámina de amianto entre dos láminas de cobre, que tiene una forma especialmente dibujada para cada tipo de motor. Esa junta debe dejar paso también a los pernos para apretar la tapa al bloque, lo que se hace mediante tuercas. En este dibujo se ven las válvulas cerradas. Es de hacer notar que en este motor las mismas son

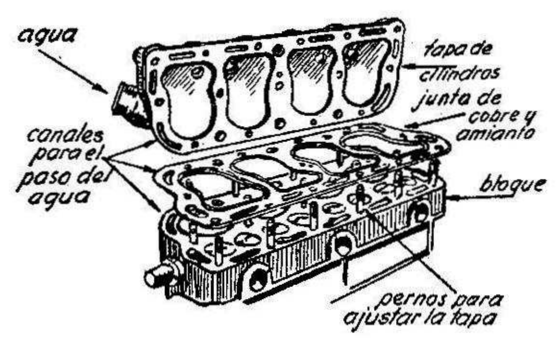


FIG. 85. — Vista de la tapa de cilindros retirada en un motor, con detalle de la junta y de los pernos.

laterales con respecto a los cilindros, pero no es ésa la única posición. En la práctica suele hablarse de motores con válvulas en la *cabeza* o en la *culata*. La posición de ellas no afecta a las explicaciones dadas sobre funcionamiento, sino que se trata de un detalle constructivo que cada fábrica adopta.

MOTORES DE DOS TIEMPOS

Por las mismas razones mencionadas cuando hablamos de los motores de gas, en los de explosión se ha tratado de aprovechar mayor número de carreras del pistón, surgiendo así los

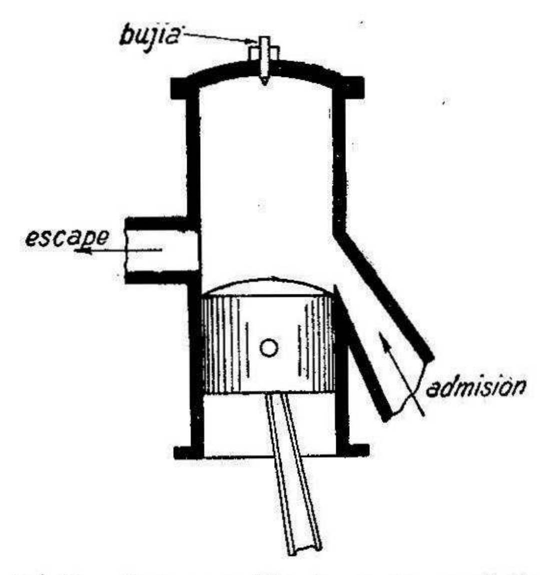


FIG. 86. — Corte esquemático de un motor a explosión de dos tiempos.

motores de dos tiempos, en los que hay una carrera útil para una inútil. En la figura 86 podemos ver un corte simplificado de este tipo de motores, que no tienen válvulas sino aberturas laterales en los cilindros, llamadas *lumbreras*, una para la admisión y una para el escape en cada cilindro. La ubicación de estas aberturas es hacia la mitad del cilindro y no sus extremos, como en los de cuatro tiempos. El paso del pistón abre o cierra las lumbreras dejando entrar gases nuevos o salir los quemados, como puede verse por las leyendas de la figura.

Un detalle muy importante en estos motores es que, como no hay una carrera completa de aspiración para llenado del cilindro, en la cual el pistón actúa como un émbolo de una bomba aspirante, hay que usar una bomba especial, aparte del motor, para producir el llenado del cilindro con los gases de combustión, y para producir el barrido de los gases ya quemados. Evidentemente, esa bomba auxiliar complica el

diseño del motor, pero permite ganar dos carreras del pistón, y el balance resulta favorable.

La figura 87 nos ayudará a comprender el funcionamiento del motor de dos tiempos. En ella vemos cuatro esquemas, indicativos cada uno de una posición distinta del pistón dentro del cilindro, correspondiendo dos posiciones para cada tiempo del motor, o sea para cada carrera del pistón. Si consideramos que en la primer carrera ascendente comienza la admisión, o, hablando más exactamente en este tipo de motores, cuando comienza la inyección por la bomba externa, ello está representado por el primer esquema. Cuando el pistón ha cubierto la lumbrera de admisión, comienza la compresión de los gases, siempre en la misma carrera ascendente. La entrada de gases terminó y al llegar el pistón arriba tenemos la mezcla comprimida y puede producirse el encendido o ignición mediante una chispa eléctrica.

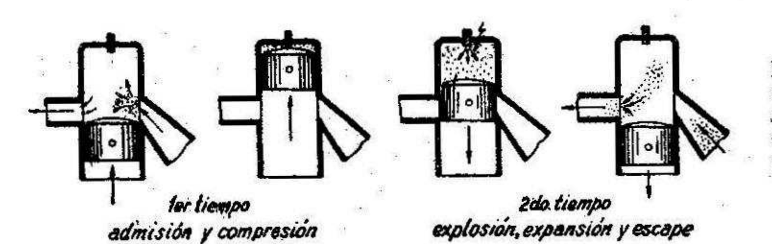


FIG. 87. — Esquema de funcionamiento de los dos tiempos del motor, mostrando dos etapas en cada uno de ellos.

En ese momento el pistón comienza su carrera en descenso, empujado por la presión de expansión de la mezcla que ya entró en brusca combustión, según lo marca el tercer esquema de la figura 87. Cuando el pistón pasa por la lumbrera de escape, la mezcla quemada sale por ese orificio, puesto que la presión exterior es la atmosférica y la interior del cilindro es mayor. Si se aprovecha en seguida que queda abierta la lumbrera de admisión, de enviar los gases nuevos al interior del cilindro por medio de la bomba de inyección, esa entrada de gases ayuda a expulsar los de escape. Comienza así nuevamente el primer tiempo del siguiente ciclo.

Angulos de trabajo

Si observamos el diagrama con representación angular de la figura 88 comprobaremos que nos marca la apertura y cierre de las lumbreras de admisión y de escape. La de admisión debe permanecer cerrada mientras la presión en el cilindro sea alta, pues los gases no entrarían en él, y abrirse cuando esa presión baje lo suficiente para permitir el acceso de los gases sin encontrar una contrapresión. El escape comienza antes de la apertura de la lumbrera de admisión por motivo similar. En el diagrama, el punto *A* marca el comienzo y el *C* el fin del escape, habiendo entre esos dos puntos un ángulo de la manivela de 100° durante el cual la lumbrera de escape se mantiene abierta.

Hay que evitar que los gases nuevos que entran al cilindro después de barridos los ya quemados, salgan por la lumbrera abierta del escape, para lo cual hay que cerrarla antes de abrir la de admisión. Para cumplir con esta condición, la admisión comienza en el punto *B* y termina en el *D*, punto posterior al *C*, que es el final del escape. Entre los puntos *B* y *D*, la manivela gira un ángulo de 90°.

La admisión comienza unos 20° antes de que la manivela alcance el punto muerto inferior,

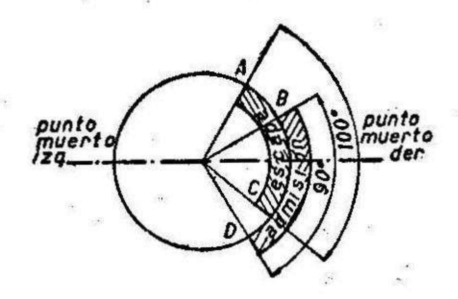


FIG. 88. — Regulación de los avances y retardos en la admisión y el escape en un motor de dos tiempos.

mientras que el escape comienza unos 45° hasta 60° antes de ese punto muerto. La admisión termina unos 70° después del punto muerto inferior, como puede comprobarse en la figura.

Para la descripción de las bombas de inyección de aire o de gas al interior del cilindro, conviene consultar el Cap. 10, que trata sobre motores Diesel, y que las usan en distintos tipos, mientras que entre los motores de explosión, abundan más los de cuatro tiempos. Evitamos así una repetición inútil. Para el sistema de encendido puede consultarse el correspondiente a los motores de cuatro tiempos, ya que es el mismo.

Ciclo de trabajo

La figura 89 nos muestra el ciclo de trabajo del motor de dos tiempos, mediante un gráfico de presiones y volúmenes que ya nos es cono-

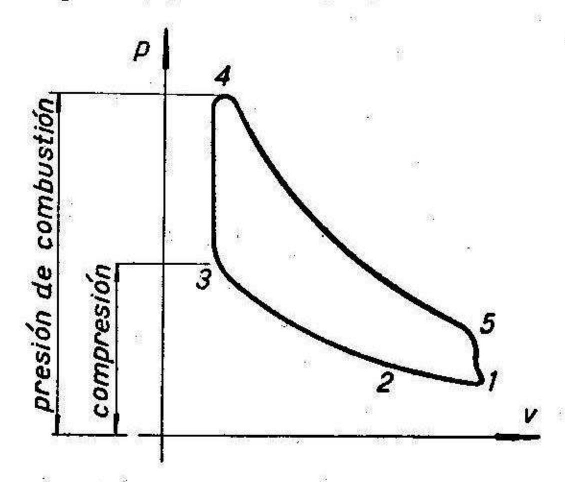


Fig. 89. — Ciclo de trabajo del motor a explosión de dos tiempos.

cido. El punto 1 marca el comienzo del primer tiempo o carrera, en el cual entra al cilindro la mezcla de aire y nafta convenientemente dosificada en el carburador. Esa mezcla es impulsada a entrar por una bomba de combustible adosada al motor. Desde el punto 1 hasta el 2 se cumple ese proceso de entrada de mezcla carburante. En 2 termina la admisión y comienza la compresión, que tiene por gráfica una curva casi adiabática, pues el corto tiempo que dura y la existencia de la camisa de refrigeración del cilindro permite suponer que no habrá intercambio de calor con el exterior. El punto 3 marca el fin de la compresión y con ello, del primer tiempo. En ese momento se debe producir la chispa en la bujía, para que entre en combustión brusca la mezcla comprimida de aire y nafta. La presión en la cámara se eleva rápidamente hasta el punto 4 y comienza en ese instante una expansión adiabática, curva 4-5. En este punto 5 se abre la lumbrera de escape, la presión desciende, y termina el segundo tiempo del motor en el punto 1, a la presión atmosférica. Comienza nuevamente el ciclo y se repiten los procesos indicados.

Es evidente, por lo que hemos dicho, que el tamaño de los cilindros de los motores de dos tiempos debe ser mayor que el de los de cuatro tiempos, para igual volumen útil, pero no debe olvidarse que hay doble cantidad de carreras útiles.

La bomba de combustible puede ser de varios tipos, habiendo motores que usan la parte inferior del carter o sea el recinto donde se mueve el cigüeñal como cuerpo de bomba. A tal efecto, el cigüeñal está provisto de palas para impulsar al combustible. Como en los motores

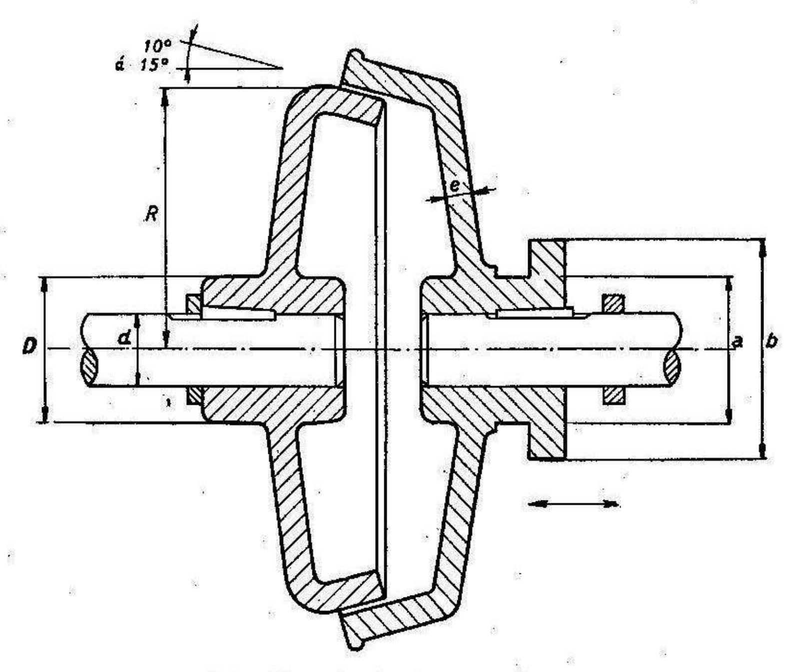


Fig. 90. — Acoplamiento a embrague.

Diesel debe usarse siempre una bomba de impulsión, este tema lo trataremos en detalle más adelante, cuando nos ocupemos de ese tipo de motores.

El acoplamiento a embrague

Siendo el motor a explosión uno de los que tiene su mayor aplicación en vehículos automotores, cabe mencionar el dispositivo mediante el cual se acopla el motor al árbol o eje motriz que hará girar las ruedas. Lo evidente es que no se puede detener la marcha del motor cuando se debe detener el vehículo, de modo que hace falta un órgano de acoplamiento que pueda ser desacoplado cuantas veces se desee, y que ese acople se haga con suavidad. En mecánica, cuando se deben acoplar y desacoplar dos ejes giratorios con mucha frecuencia, se utiliza un elemento llamado *embrague*, cuya ilustración básica se ve en la figura 90. Se trata de dos discos de construcción tal que las superficies de apoyo entre los mismos tienen forma cónica. Basta desplazar uno de ellos sobre su eje para efectuar el acople y el desacople.

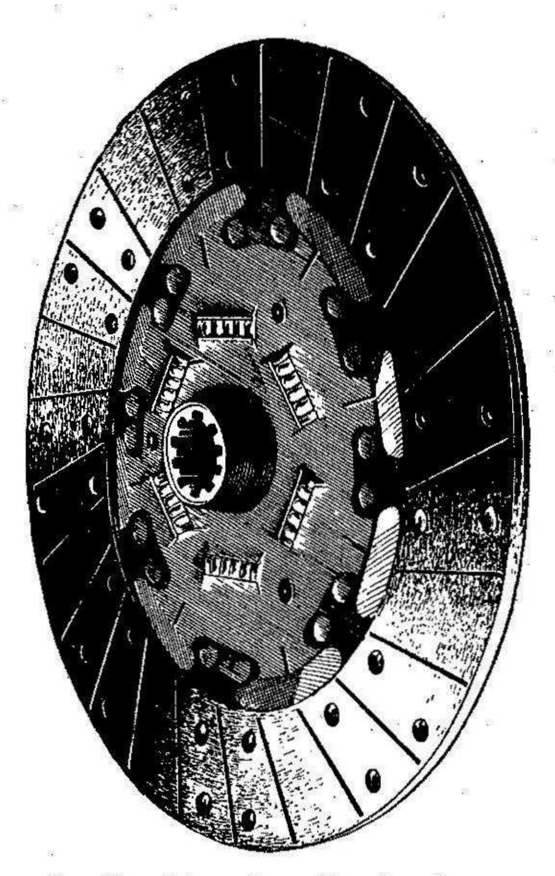


FIG. 91. — Aspecto de un disco de embrague.

En los motores de automóvil y demás vehículos el embrague se hace mediante discos cuyo aspecto difiere del ilustrado en la figura 90, teniendo en cambio el que se ve en la figura 91. El material de roce y fricción es más blando que el acero que tenía el modelo anterior, y está provisto de sectores entre los cuales aparecen unos pequeños resortes que amortiguan el golpe de acoplamiento. Es lógico que cuando se acopla el motor al eje motriz la operación no debe ser muy lenta, dejando la suavidad del acople a la acción retardada de los discos de embrague, pero nunca debe hacerse tan rápido el acople como el desacople, el cual debe ser instantáneo. Los discos sufren desgaste, de manera que con el uso deben ser repuestos cuando acusan un deslizamiento en posición de acople absoluto.

Este tema ha sido mencionado al paso, pues no corresponde al tema de los motores en sí, pero se trata de un elemento que viene prácticamente adosado al motor a explosión, cuando éste está destinado a un vehículo. Tal vez podríamos haber tratado también en forma somera la caja de velocidades, suerte de combinación de engranajes que permite transmitir el movimiento rotativo del cigüeñal al eje motriz en forma tal que se cumpla siguiendo una relación de reducción, una directa, o sea sin reducción, y aún una con multiplicación. Pero, en ese tren de cosas, hay muchos otros temas que se refieren en forma específica al vehículo, y escaparíamos del asunto principal de esta obra: los motores.

Día 8

Ya sabemos cómo funciona el motor a explosión, sea de dos o de cuatro tiempos. Vimos que guarda cierta similitud con el motor a gas, pero precisamente la diferencia más importante es la necesidad de preparar la mezcla carburante en el motor mismo, para los de explosión, mientras que el gas se preparaba fuera, en los gasógenos, para los de gas. Y justamente el acondicionamiento de la mezcla de aire con nafta se hace en un aparato llamado carburador, del cual nos ocuparemos en el día de hoy.

El hecho de que los motores a explosión usen nafta como combustible es bien conocido, así como que la nafta es un derivado del petróleo. Pero hay varias clases de nafta, a la misma se le agregan o no aditivos, se la mezcla con aceite, en fin, que debemos ocuparnos también del problema del combustible y sus características. Y es lógico que se agrupen los temas de carburación y de combustibles, porque el tratamiento a los segundos se hace en los carburadores, y en forma que depende del modelo. Veremos algunos tipos de carburadores porque es imposible describirlos a todos los que se emplean en la práctica; cada fábrica introduce ligeras variantes pero muchas veces las mismas no afectan al principio de funcionamiento, que es el básico.

CARBURACION Y COMBUSTIBLES

Carburantes

Todo el proceso termomecánico que se lleva a cabo en un motor de explosión se apoya en la transformación de energía química en térmica y de ésta en mecánica. Evidentemente la eficiencia del proceso depende en gran parte de la primera de las dos fórmulas nombradas. El agente que interviene es el combustible.

Si bien un combustible puede quemarse con el auxilio de una llama que inicie el proceso, no siempre se realiza tal procedimiento en la práctica. Suele en cambio tomarse una mezcla íntima entre el combustible y el oxígeno para conseguir una combustión mucho más eficiente.

En realidad el procedimiento se emplea convenientemente con los combustibles líquidos, que en tal caso se denominan carburantes. Como no sería práctico usar oxígeno puro se emplea el aire, del cual el oxígeno forma el 21 por ciento. El nitrógeno y demás gases del aire no intervienen en la combustión.

La mezcla del combustible y el aire debe ser íntima y para ello hay que separar al líquido en sutiles gotitas, por cuyo motivo se dice que se lo pulveriza, aunque en realidad continúa siendo líquido. La unión de aire y combustible pulverizado se llama *mezcla carburante*. Durante el proceso de combustión de tal mezcla se desarrolla un gran volumen de gas cuyo origen se debe a la gasificación del líquido combustible.

Para realizar la combustión de la mezcla hay que someterla a una presión que facilite el inicio del proceso. Esto ocurre en los *motores Diesel*. Si la presión es un poco menor y hay que calentar un poco el recipiente para producir la combustión espontánea, se tienen los motores *semi-Diesel*. Y finalmente si la presión es aún menor y para provocar la combustión hay que hacer una chispa dentro de la mezcla carburante, se tienen los *motores a explosión*.

Mezclas explosivas

Hay mezclas carburantes que son propensas a una combustión altamente veloz por lo que se las denomina explosivas, y producen un encendido instantáneo de toda la mezcla y un aumento brusco de la presión.

Las mezclas explosivas pueden estar formadas

por una combinación de materias sólidas, líquidas o gaseosas. Un ejemplo característico de materias sólidas lo constituye la pólvora, de aplicación industrial y bélica.

Con líquidos se hacen también explosivos como la nitroglicerina y otros. Los gases forman asimismo mezclas explosivas y el caso más típico es el del hidrógeno con el oxígeno, que asociados químicamente dan el agua, pero mezclados simplemente forman un gas poderosamente detonante.

La característica o propiedad de una mezcla carburante de convertirse en explosiva se llama *detonancia.* Su estudio es muy importante para motores a explosión usados en aviación, donde se emplean combustibles especiales de carburación rápida.

Combustibles

La mayor parte de los combustibles son compuestos de carbono e hidrógeno, o sea de hidrocarburos. Como impureza frecuente está el azufre, el cual debe limitarse a cifras muy pequeñas en las especificaciones, ya que es motivo de corrosión en las piezas metálicas. Los combustibles líquidos son producto del petróleo, mineral fosilizado, espeso y verduzco, que se encuentra en la naturaleza en grandes yacimientos. Si se hace hervir el petróleo y luego se hace una destilación, o sea una licuación fraccionada, se obtienen los *cortes,* entre cada dos límites de temperatura. Por ejemplo, entre los 70° y los 170° se destila el kerosén; a los 180° se tiene la nafta y entre los 200° y los 300° se tienen los combustibles para motores diesel, el más conocido de los cuales es el *gas-oil.* De esas operaciones resultan desprendidos una cantidad de gases, que pueden ser aprovechados para alimentar calderas o motores a gas.

Para obtener la energía almacenada por la naturaleza en un combustible es menester producir un proceso térmico en presencia de oxígeno. La reacción química que se produce consiste en la combinación del carbono del combustible con el oxígeno del aire, lo que da un compuesto gaseoso llamado *anhidrido carbónico,* y desprendiéndose una gran cantidad de calor durante tal proceso. La combustión completa del carbono con el oxígeno se lleva a cabo con la proporción de 2,66 Kg de oxígeno por cada Kg de carbono, y con producción de unas 8.000 Calorías de calor.

Si la combustión es incompleta, es decir, si la cantidad de oxígeno presente no es suficiente, no se quema todo el carbono, y en lugar de anhidrido carbónico se forma *óxido de carbono,* un gas fuertemente tóxico, siendo además menor la producción de calor. En la realidad, siempre hay una parte de óxido de carbono en los gases quemados o de escape de los motores a explosión, aunque la combustión sea buena.

El poder calorífico de la nafta, en cifras medias, puede estimarse en unas 10.000 Calorías por litro, y la cantidad de aire para producir la combustión completa de la nafta es unos 9.000 litros de aire por litro de nafta. En peso, esa proporción es la unos 15 Kg de aire por Kg de nafta, en cifras medias.

Detonancia

Este fenómeno, también llamado *golpeteo* o *pistoneo,* consiste en una propiedad de las mezclas carburantes de convertirse en explosivas. Obsérvese que es irónico que el motor del tipo que estamos estudiando se llama de explosión, y precisamente hablamos de la explosividad de la mezcla como un inconveniente. Es este uno de los muchos ejemplos de denominaciones incorrectas en la técnica. Se reconoce la detonancia por una suerte de martilleo o campanilleo metálico, que ocurre más frecuentemente cuando se acelera el motor y casi siempre cuando el avance al encendido es excesivo.

Un investigador famoso, el Dr. Ricardo, estudió el fenómeno de detonancia y encontró que era debido a la naturaleza del combustible, pues con algunos ocurría más que con otros, inclusive tenía influencia la procedencia del petróleo usado para destilar la nafta. Para esta investigación, se construyó un motor especial, en el cual se podía graduar el índice de compresión. Así pudo determinar que si se aumentaba la compresión en el motor, y esa es la tendencia moderna, la detonancia se producía en mayor grado, así como era menor en mezclas carburantes más pobres y en motores que trabajaban más fríos.

La posición de las válvulas y la forma de la cámara de combustión son factores muy importantes en la reducción de la detonancia. Fue así que se abandonaron los motores con válvulas laterales para colocarlas en la cabeza o en la culata. Asimismo, la cámara de combustión sufrió modificaciones en su forma, pues primitivamente era una simple prolongación del cilindro y actualmente se les da formas con curvaturas suaves, que faciliten el desplazamiento de la mezcla gaseosa y evitando los ángulos vivos que producen turbulencia.

Número octano

Para determinar la tendencia a la detonancia de un combustible se emplea lo que se llama el *número octano*. Es una norma universal que consiste en hacer una mezcla de dos combustibles, el *iso-octano* y el *heptano*. La particularidad de ellos es que el primero es muy resistente a la detonancia y por ello se le asigna el número octano 100. El segundo detona con mucha facilidad, aun con índices de compresión muy bajos, por lo que se le asigna el número octano 0. Para determinar el número octano de un combustible cualquiera se lo compara con una mezcla de iso-octano y heptano que produzca la misma detonancia a igual compresión y demás condiciones en el mismo motor. La proporción de iso-octano que se colocó en la mezcla que resulte igual al combustible probado mide el índice o número octano de éste.

Por ejemplo, se tiene una nafta en prueba y se la compara en un motor con mezclas de los dos combustibles antes nombrados. Se constata que la detonancia se produce igual en nuestra nafta que en la mezcla de 70 partes de iso-octano con 30 partes de heptano. Decimos que la nafta probada tiene un número octano de 70.

Parecería que un número octano de 100 es el máximo que puede haber, pero no es así. La perfección lograda en la elaboración de combustibles especiales para motores a explosión ha hecho superar las características del iso-octano, y se ha llegado a que se habla de mezclas con número octano superior a 100, como 130, cifra común en combustibles para aviación. Claro que esta comprobación entonces no la podemos hacer con la mezcla antes citada, sino mediante procedimientos de laboratorio.

La siguiente clasificación de combustibles para motores a explosión da idea de los números octánicos comunes:

	Número octano
Nafta para automóviles	65 a 82
Nafta especial	77 a 87
Nafta de aviación	90 a 100
Combustibles especiales	100 a 130

Aditivos para naftas

El número octano ha sido una preocupación para los usuarios de motores a explosión, ya que la tendencia industrial moderna ha sido aumentar el índice de compresión para mejorar el rendimiento. Como los combustibles no los producen los fabricantes de motores, no ha sido fácil un acuerdo, por lo que se han buscado sustancias que, agregadas a la nafta, aumenten su número octano. Ejemplo típico de ellas son el *carbonilo de hierro*, el *carbonilo de níquel* y la más conocida, el *tetraetilo de plomo*. Los dos primeros compuestos nombrados no han gozado de popularidad debido a los residuos carbonosos que dejan en los tanques; en cambio, el tetraetilo de plomo es líquido y, para ilustrar sobre las ventajas de su uso, diremos que un centímetro cúbico por litro de nafta levanta el número octánico en un 30 % más o menos.

Combustible para motores de dos tiempos

En el día pasado nos ocupamos de los motores a explosión de cuatro y de dos tiempos. Funcionalmente tenían una diferencia grande, que fue estudiada, pero además hay otra en el combustible que se emplea para uno y otro tipo. Los motores de cuatro tiempos usan nafta, sea del tipo común o especial, de acuerdo con el índice de compresión del motor. Aparte, se les coloca a tales motores aceite lubricante en el cárter o recinto del cigüeñal, el cual debe ser renovado después de cierto número de horas de funcionamiento. El aceite lubrica los cojinetes de bancada, de bielas, pernos de pistón y el deslizamiento del pistón. De estos temas nos ocuparemos más adelante.

Pero lo que ahora interesa es que, en los motores de dos tiempos, el aceite lubricante se mezcla con la nafta, y de ese modo el primero cumple su función de lubricación al colocarse por el espacio entre el pistón y el cilindro, llegando inclusive al cárter de donde, por salpicado, se lubrican todos los cojinetes.

Cada tipo de motor lleva indicada la proporción de aceite y el tipo que debe agregarse a la nafta. Esa proporción puede ser de 1:20, 1:30, 1:40, etc. lo que quiere decir que la mezcla lleva un litro de aceite en la cantidad de litros de nafta indicada por la segunda cifra. Es común que para motonetas, por ejemplo, se adquiera el combustible ya preparado. La mezcla debe ser íntima, por lo que, para facilitarla, algunos motores traen mezcladores de carga. Para ello se coloca primero el aceite por el tubo de carga del tanque de combustible, y luego, al agregar la nafta, ésta va lavando el aceite que ha quedado en una especie de palangana toroidal y queda mezclado.

El aceite para incorporar a la mezcla debe tener una densidad adecuada, por ejemplo: S.A.E. 40. Esta manera de determinar la densidad será estudiada más adelante. Otras veces los fabricantes preparan aceite especial para

mezclar con la nafta (ej. Shell 2T). Lo importante para el correcto funcionamiento del motor es usar el tipo y cantidad de aceite recomendados por el fabricante del motor.

Principio del carburador

En todo motor a explosión debe haber un dispositivo encargado de pulverizar la nafta y mezclarla con el aire, que se denomina carburador. Para visualizar la pulverización recuérdese el efecto que produce un chorro veloz de aire al pasar rozando un delgado orificio en las máquinas para matar insectos. De modo que hay que hacer pasar una columna de aire a gran velocidad rozando un delgado tubito que comunique con el depósito de nafta. Podemos entonces entrar en la descripción del carburador.

En principio la misión del carburador es gasificar la nafta, para poderla mezclar con el aire que aspira el motor en su carrera de admisión. Una buena mezcla de aire y nafta se considera normal cuando tiene una proporción en peso de:

15 : 1 hasta 16 : 1

es decir, unos 9000 litros de aire por cada litro de nafta.

Claro está que esa proporción es la normal, pero cuando el motor debe desarrollar mayor o menor velocidad, se cambia, agregando o quitando proporción de nafta o de aire, respectivamente. En condiciones normales, un motor a nafta consume unos 200 a 240 gramos de nafta por C.V. hora.

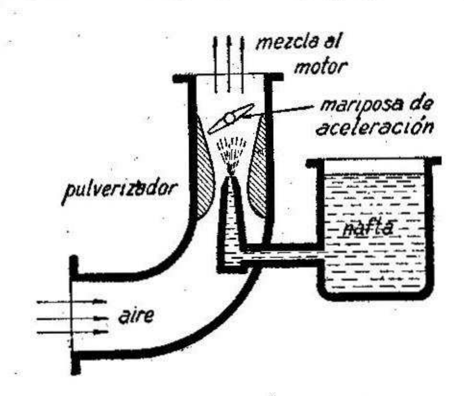


FIG. 92. — Principio básico del funcionamiento del carburador simple de un solo pulverizador.

El carburador más simple se ilustra en la figura 92. Consiste en un conducto estrechado en cuya parte más angosta está ubicado el pulverizador, especie de boquilla a la cual llega la nafta en estado líquido. El conducto está en comunicación con la atmósfera, por debajo, para permitir la entrada de aire, y con el motor, en el orificio de admisión por arriba, para que la mezcla de aire y nafta entre al cilindro cuando el pistón realiza la aspiración. La boquilla está unida por un conducto al depósito de combustible.

Inmediatamente arriba de la parte estrechada del conducto, hay un disco de metal que puede girar alrededor de su eje diametral. Es la mariposa de aceleración, pues si se la coloca en posición horizontal obstruye completamente el conducto de aspiración; si se la hace girar un poco, permite el pasaje de la mezcla en cantidad variable con la apertura, y cuando está vertical, la abertura es máxima, y toda la mezcla va al cilindro. El gobierno de la mariposa de admisión se hace desde el exterior, mediante un juego de palancas que permiten girar el disco.

Cuando el pistón desciende en el cilindro y la válvula de admisión está abierta, lo cual sucede en el primer tiempo del motor, se produce una succión en el conducto, el aire es aspirado hacia el cilindro y en la boquilla se produce un vacío que succiona la nafta, haciéndola fluir en forma de fina lluvia, prácticamente pulverizada, por lo que se mezcla con el aire. El estrechamiento del conducto en esa región, mediante las piezas suplementarias que se han dibujado rayadas en la figura 92, compuesto que se llama *difusor*, tiene por objeto aumentar el efecto de succión sobre la nafta que fluye por la boquilla. El orificio de esta boquilla debe ser de diámetro muy reducido, para el mismo fin. Siendo la nafta un líquido tan volátil, al salir por la boquilla por efecto de la depresión se gasifica, de modo que la fina lluvia pulverizada que hemos mencionado es, en realidad, gas de nafta, o si se quiere, vapores de nafta.

Mediante la mariposa de admisión se regula la aspiración de mezcla al motor, y con ello la velocidad y la potencia del motor mismo según los requerimientos del uso. En los automóviles, la mariposa está gobernada por un pedal que acciona un juego de palancas. Cuando se aprieta el pedal se hace girar la mariposa.

Variaciones de la mezcla carburante

El inconveniente del carburador simple de la figura 92, es que en el arranque el motor gira a pocas revoluciones por minuto, con lo que la aspiración será reducida, y es precisa-

mente en el momento que hace falta una mezcla rica para vencer la inercia que opone la masa de las partes móviles. Por más que se abra totalmente la mariposa, como el motor realiza una aspiración reducida no se consigue obviar el inconveniente. Si se dispone que el carburador funcione de tal modo que la cantidad de nafta sea grande con respecto a la de aire, tendremos que durante la marcha normal habrá

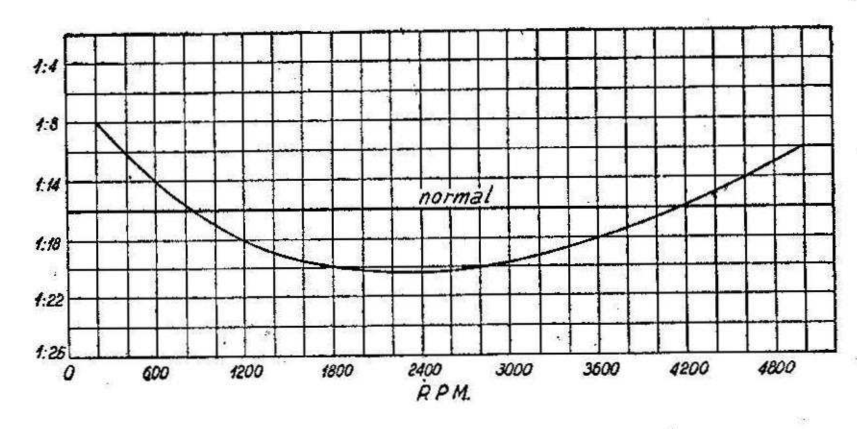


Fig. 93. — Gráfico que indica las proporciones de aire y nafta a distintas velocidades del motor.

exceso de nafta, y aumentará inútilmente el consumo del motor.

Esta circunstancia se agrava por la razón siguiente: en el arranque la velocidad de la columna de gases de aspiración es reducida, por lo que, como el aire es liviano y la nafta pesada, se aspirará más aire y menos nafta, precisamente lo contrario de lo que debe ocurrir en el arranque. A alta velocidad, la columna de gases posee una inercia cinética o de movimiento, que obra en mayor grado sobre los cuerpos más pesados, es decir, sobre la nafta, con lo que la mezcla se hará más y más rica, y que es también lo contrario de lo que debe suceder, puesto que a alta velocidad se puede empobrecer un poco la mezcla.

Para visualizar rápidamente cómo debe ser la proporción de nafta y aire a distinta velocidad del motor nos remitimos a la figura 93, que da dicha proporción en función de las velocidades del motor. El término medio de la mezcla, sabemos que es una parte en peso de nafta por 16 de aire y la curva muestra que puede superarse o reducirse esa proporción según sea la velocidad del motor.

De lo antedicho se deduce que el carburador simple sólo se puede emplear en los motores que funcionan a un régimen constante, cosa no muy común, especialmente en los vehículos. Para solucionar el inconveniente se han ideado una gran cantidad de carburadores con dispositivos de corrección o compensación, de los cuales describiremos los más comunes: el Zenith y el Solex.

Carburador Zenith

Veamos el funcionamiento de este popular tipo de carburador, que soluciona perfectamente los inconvenientes que se presentaban en el simple. La figura 94 muestra un corte esquemático y la 95 una vista completa de dicho carburador. Hay dos depósitos, el principal *A* y el auxiliar *B* de mucho menor tamaño. En el conducto de aspiración hay dos boquillas o pulverizadores (*gigleurs*): la principal 1, y la auxiliar 2. Además, en una parte del conducto que queda encima de la mariposa de aceleración, hay una entrada suplementaria de mezcla, la 3, que tiene una toma de aire auxiliar y un regu-

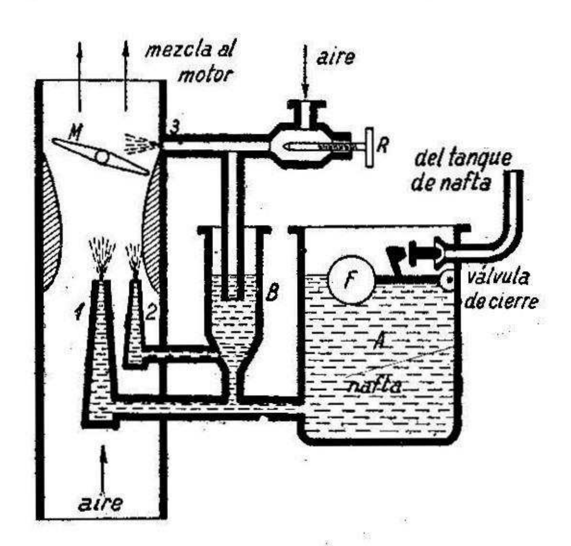


Fig. 94. — Corte de un carburador Zenith con sus tres pulverizadores y el depósito de nivel constante.

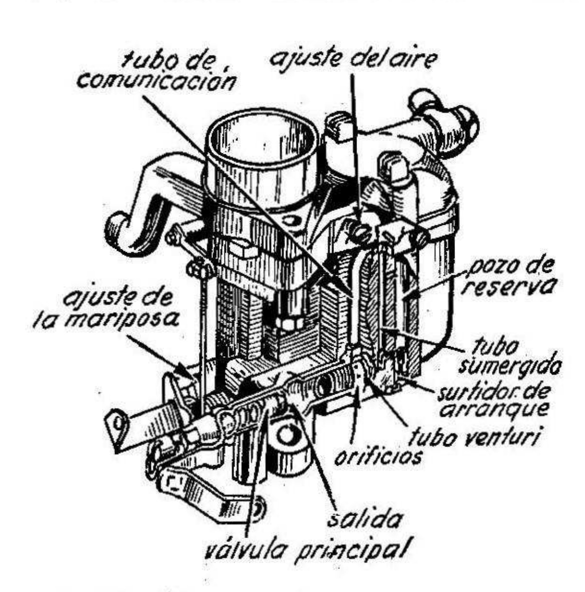


FIG. 95. — Vista completa del carburador Zenith.

lador *R*, con una aguja de obstrucción del conducto 3.

El depósito *A* está provisto de una válvula automática de entrada de nafta, lo que no es exclusivo de este tipo de carburador, sino que se emplea en todos los demás modelos. Esa válvula funciona de la siguiente manera: un *flotante F* sube cuando se eleva el nivel de la nafta en el depósito, y como tiene una palanca articulada y un brazo, al subir empuja un botón que obstruye la entrada de nafta. En cuanto baja el nivel de nafta, baja el flotante y se abre la válvula, entrando combustible hasta que llega al nivel que se mantiene constante.

Pasemos al funcionamiento del carburador. Para ello consideraremos tres regímenes de trabajo del motor: arranque, velocidad media y alta velocidad.

1º ARRANQUE O BAJA VELOCIDAD. — La aspiración es pobre y el motor tiene tendencia a aspirar más aire que nafta, pero en el depósito *B* el nivel de nafta es igual que en el *A*, por lo cual fluye nafta al pulverizador 2 y al conducto 3, además de la que va al pulverizador principal 1. Habiendo tres salidas de nafta trabajando, se producirá una mezcla muy rica, que es lo que se necesita en este régimen de funcionamiento.

2º VELOCIDAD MEDIA. — Cuando aumenta la velocidad del motor, la aspiración comienza a ser más enérgica, por lo que se notará que el nivel de nafta en el depósito *B* desciende por el efecto de succión de las boquillas 1 y 2. El cañito del conducto 3 ya no entra en el líquido del depósito *B*, pues su extremo ha quedado descubierto al bajar el nivel de nafta, y ya no funciona el sistema de inyección 3. La mezcla se normaliza, pues aunque es mayor la aspiración de nafta por las boquillas 1 y 2, la 3 no suministra más nafta.

3º ALTA VELOCIDAD. — Hemos dicho que a altas velocidades, el motor muestra tendencia a aspirar más nafta que aire, pero cuando ello sucede, la succión en la boquilla 1 se hace mucho mayor, quedará descubierto el conducto que va al pulverizador 2. Ahora la única boquilla que trabaja es la 1, y por más que la succión de nafta ha aumentado notablemente, la mezcla mantiene su proporción, ya que de tres entradas sólo ha quedado una trabajando. El regulador *R* permite variar la cantidad de mezcla en el arranque, y se ajusta una sola vez, en una prueba de taller.

Bomba de aceleración

Uno de los inconvenientes del carburador descripto, que es el de no suministrar la nafta adicional cuando se desea una aceleración brusca, es decir que no sea capaz de enriquecer la mezcla aire-nafta en la proporción debida, ha hecho que la mayoría de los motores a explosión incorporen al carburador, tanto al Zenith como a los otros tipos usados, una bomba de aceleración. Su aplicación la vemos en corte en la figura 96.

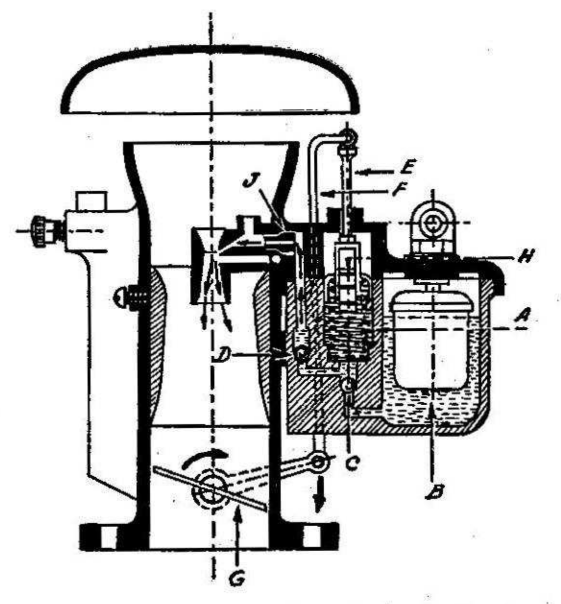


FIG. 96. — Corte esquemático de una bomba de aceleración.

Se trata de una bomba a pistón, del tipo aspirante-impelente, que toma nafta de la cuba de nivel constante y la envía directamente al conducto de admisión. En esencia consta de un cilindro *A*, que está ubicado a un costado del recipiente de nivel constante *B*, y con el cual comunica por su base inferior, pero no en forma permanente sino cuando se libera el tubito mediante una munición de asiento *C*. El cuerpo de bomba también comunica con el conducto de admisión mediante otro cañito, provisto, a su vez, de otra munición obturante *D*. Obsérvese que la munición *C* abre de afuera hacia adentro, mientras que la *D* lo hace de adentro hacia afuera.

Dentro del cilindro de la bomba *A* hay un pistón con su vástago que sale al exterior *E*, acoplado a una varilla *F*. La mariposa de aceleración *G* acciona a esta varilla *F*, de modo que cuando se abre hace bajar al pistón y cuando se cierra lo hace subir.

Por otra parte el pistón de la bomba es hueco, y tiene en su interior otro pequeño pistón *H*. Cuando el pistón principal sube el *H* desciende. Cuando *H* baja produce un vacío en el interior del cilindro *A*, que hace abrir la munición *C* y entra nafta desde *B*. Habiendo nafta en la bomba, cuando se acelera bruscamente el motor ambos pistones descienden originando en el cuerpo de bomba una presión que hace abrir la munición *D* y la nafta va al tubo de admisión, previamente pulverizada por *J*.

Es de notar que para evitar que el motor se ahogue la bomba debe actuar con cierto retardo, cosa que se consigue en forma automática debido a que la introducción de un pistón en el otro es tal que el movimiento se cumple con cierto retardo, el suficiente para evitar que la nafta llegue a los cilindros del motor antes de que se produzca la aceleración.

Sistemas de cebado

En el arranque los motores a explosión necesitan una mezcla más rica en nafta, cosa que los carburadores no pueden regular. Es común dotar al motor de un dispositivo llamado *cebador*, que se usa para el arranque en frío, pues cuando se lo debe poner en marcha estando aun caliente no se necesita.

El cebado se puede hacer enviando más nafta al tubo de admisión o restringiendo la entrada de aire en el mismo tubo. Como es evidente, de ambas maneras se enriquece la mezcla. La figura 97 muestra un tipo de cebador del segundo sistema. El tubo de admisión tiene su mariposa, la cual tiene un diafragma, cuyo peso hace que, al aumentar la velocidad del motor, la mayor depresión hace separar a ese diafragma de su asiento. Con ello la mezcla se va empobreciendo por aumento de la cantidad de aire aspirada.

En otros tipos el eje de la mariposa tiene un débil resorte que la mantiene cerrada. Como el eje es excéntrico, al crearse una mayor depresión por el crecimiento de la velocidad del motor, la presión sobre la mitad mayor de la mariposa es más grande que la que hay sobre la mitad menor, y se abre, venciendo al resorte.

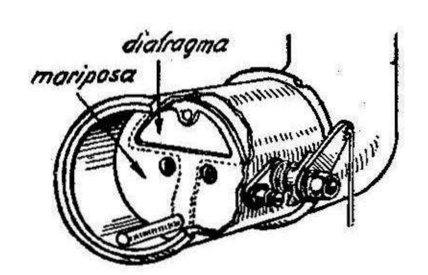


Fig. 97. — Un cebador tipo semi-automático.

En realidad el cebado se puede hacer sin automatismo alguno cerrando un poco la mariposa de entrada de aire, pero recordando de abrirla una vez que el motor adquiere la temperatura normal.

Carburador Solex

Los carburadores pueden ser de corriente ascendente o descendente, es decir que la mezcla de aire y nafta puede seguir un movimiento de ascenso o de descenso en el punto en que actúa el carburador. Los principios de acción de cada carburador no son muy diferentes por ese detalle, y en el caso del Zenith, figura 94, hemos usado para la descripción el modelo de corriente ascendente. Para el Solex, del que nos ocuparemos ahora, emplearemos uno de corriente descendente, y esto se complementa con la afirmación de que existen de ambos tipos con los dos sentidos de la corriente gaseosa.

Tal como en otros carburadores, hay aquí un depósito de nivel constante, pero que tiene un flotante cilíndrico de gran tamaño *A*, provisto de un punzón o aguja superior *B*, la que puede obturar la entrada de nafta que viene por el conducto que está inmediatamente arriba. Obsérvese que el orificio *C* de pasaje de nafta hacia la bomba de aceleración, cuyo agregado al carburador Zenith ya ha sido explicado, y que,

como vemos, se emplea también en este tipo, se encuentra en un punto bastante elevado, y por encima del de máxima subida del pistón de esa bomba (*D*).

Esta bomba tiene en su pistón una prolongación del vástago, sobre el que apoya una arandela *E*. Normalmente la misma está caída, y el conducto de salida de la bomba se mantiene abierto. El nivel de nafta en el depósito de nivel constante coincide con la base de la tapa de la bomba de aceleración. La nafta llega así al pulverizador principal *F*.

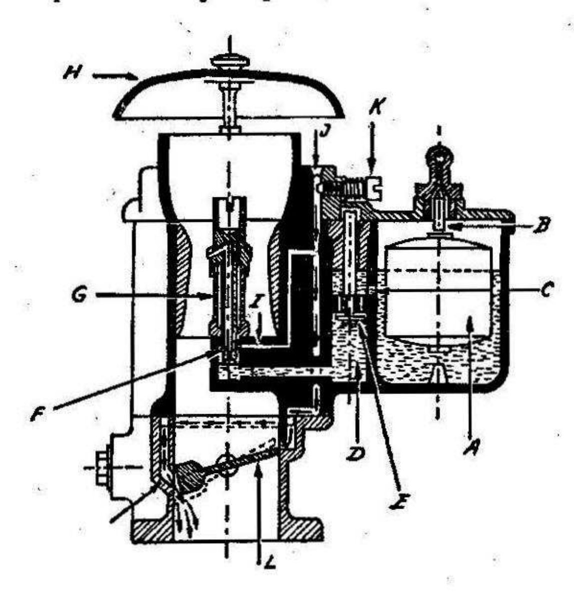


FIG. 98. — Corte esquemático del carburador *Solex*.

Sobre ese pulverizador está dispuesta una pieza, la más importante de este tipo de carburador, que es el cilindro G, llamado *capuchón* y que está en la zona del difusor del conducto de aspiración. Este capuchón tiene en sus paredes varios orificios para la toma de aire y otros para la salida de nafta, y su conducto central termina arriba en un codo para descarga de nafta. Más arriba, en la entrada de aire superior hay una campana que sirve de tapa *H*. Por encima del tubo de comunicación entre el pulverizador y la bomba hay otro conducto *I*, que comunica en su recorrido con la entrada adicional de aire *J*, la cual tiene un tornillo transversal de regulación *K*. La mezcla de aire y nafta, a baja velocidad descarga por dos conductos opuestos que están por encima y por debajo respectivamente de la mariposa de aceleración *L*, la cual tiene a la izquierda una forma especial precisamente para facilitar la descarga.

Veamos ahora el funcionamiento según el régimen de velocidad del motor. Estando la mariposa cerrada, se produce una depresión debajo de ella, que succiona aire desde el conducto *J*, el cual arrastra nafta a través del conducto *I* pulverizándola en forma de mezcla rica, que es lo que necesita el motor en baja velocidad. El tornillo *K* permite hacer una buena regulación de esa mezcla para cada motor.

Si se abre un poco la mariposa de aceleración, la mezcla debe empobrecerse un poco, y ello ocurre de dos maneras. Al descubrirse el conducto de la derecha que está sobre la mariposa cerrada, que se descubre precisamente porque la mariposa ha sido girada un poco, viene más nafta por el conducto *I* arrastrada por el aire de *J*, pero obsérvese que al mismo tiempo, al abrirse la mariposa *L* se succiona aire por el conducto de aspiración, el cual entra en gran cantidad y la mezcla se empobrece un poco, cosa que corresponde a velocidades medias del motor.

Si persiste o aumenta el régimen de velocidad media o económica, comienza a actuar el capuchón, pues al abrirse más la mariposa la succión de admisión hace un efecto similar sobre el conducto acodado superior. El aire llena el vacío anular del capuchón y comienza a arrastrar la nafta. Hay aquí orificios dispuestos en capas, ordenadas a distintas alturas y el fenómeno mencionado empieza por las capas superiores, luego en las segundas y así siguiendo. Se llega así a un fenómeno inverso del que ocurría en baja velocidad, pues el arrastre de nafta por el conducto *I* se hace en sentido contrario, con lo que la mezcla se empobrece al máximo, resultando económica.

Sistema de cebado en el Solex

En la figura 99 se muestra el sistema de cebado para arranque del motor en frío más usado en los carburadores tipo Solex. Hay un conducto especial *A* que va desde el depósito de nivel constante hasta un pulverizador *B* y de allí a un recinto *C*, cuyo nivel es el mismo del depósito principal del carburador. El conducto lateral *D* puede llevar nafta de ese recinto hasta el tubo de admisión pasando por el conducto de descarga *E*.

Para hacer actuar el cebado cuando se desea hay un grifo de paso *F* que se acciona por girado mediante una palanca externa. Girando ese grifo se da más o menos paso a la nafta para el cebado, y se consigue que la mezcla de admisión tenga un refuerzo mayor o menor, o sea

que su riqueza sea graduable. El aire para pulverizar la nafta de cebado entra por los orificios *G* practicados en la tapa del recinto de cebado.

Es fácil advertir que el sistema de cebado descripto es más perfecto que los mencionados al ocuparnos del carburador Zenith, al propio tiempo que actúa por inyección adicional de nafta en lugar de reducir la cantidad de aire en la mezcla. El objetivo, que es el de enriquecer la mezcla, se consigue de ambas maneras, pero el modo de conseguirlo es opuesto. Lo dicho no quiere decir que siempre se use uno u otro sistema con cada carburador, ni que todos los carburadores existentes sean del tipo Zenith o del tipo Solex. Lo que ocurre es que, no siendo esta obra destinada a una especialización en carburadores, se han tomado dos de los más clásicos para establecer las diferencias básicas de funcionamiento.

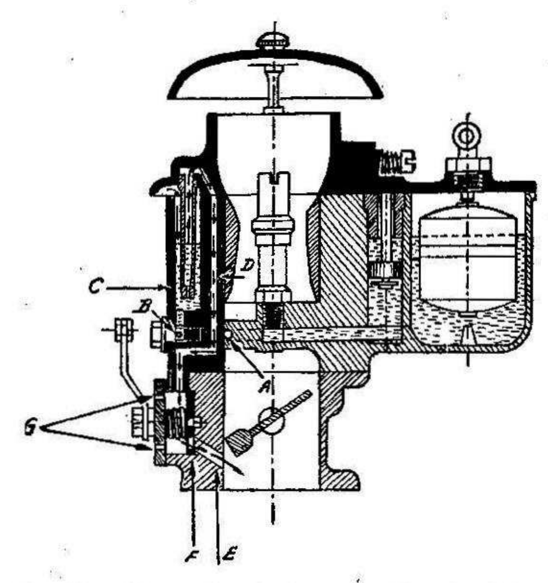


FIG. 99. — Sistema de cebado en el carburador *Solex*.

Podemos citar así, sin pretender hacer una nómina exhaustiva, a los carburadores Stromberg, Carter, Holley, Ford, etc. Las diferencias entre los mencionados y los clásicos que nos han ocupado son de mayor o menor importancia, pero es común que se encuentren en todos el depósito de nivel constante, el dispositivo de cebado para arranque en frío, la mariposa de aceleración y la boquilla de pulverización para marcha normal. Además, los sistemas para funcionamiento en velocidades bajas, medias y altas, y allí es donde cada modelo introduce sus diseños particulares.

Filtros de aire y nafta

No insistiremos en la descripción de los diversos tipos de carburadores, pues ello pertenece a los tratados especializados. Tampoco se entrará en detalles de la forma como cada fábrica ha solucionado los problemas de arranque y la colocación de bombas de nafta para diversos fines, a los que no es ajena la circunstancia que a ciertas alturas sobre el nivel del mar baja el rendimiento de los motores de aviación por la depresión atmosférica. Veamos, en cambio, algunos detalles adicionales sobre la nafta y el aire de alimentación del motor.

El aire que aspira el motor está lleno de impurezas y materias en suspensión que entrarán en el cilindro, produciendo depósitos de carbón al quemarse. Este depósito raya los cilindros, obstruye las válvulas y produce otros inconvenientes. Por tal motivo conviene filtrar el aire de aspiración. Un modelo de filtro ilustrado en la figura 100 emplea virutas metálicas, por las que debe pasar el aire, dejando en ellas las partículas en suspensión. Se aumenta la eficacia del filtro si se empapa a las virutas con aceite. Similar filtro puede colocarse en los motores con columna ascendente.

La nafta que está en el tanque de combustible puede tener partículas extrañas que obstruyen la boquilla del pulverizador. Para evitar el inconveniente se provee al depósito auxiliar del carburador o al conducto de llegada de nafta, de un filtro, generalmente formado por una te-

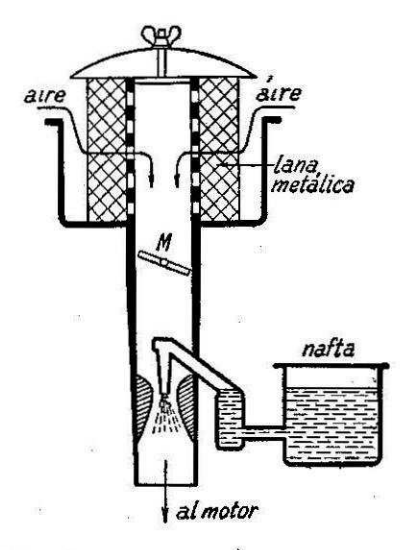


FIG. 100. — Corte de un filtro de aire aplicado a un carburador de corriente descendente.

la metálica de malla fina. La mayor parte de las veces, el extremo del caño de llegada de nafta tiene una boquilla de esa tela.

Además de los dispositivos señalados, haremos notar el precalentador de aire, cuya misión es mejorar la carburación o la gasificación de la nafta (Fig. 101). En efecto, si el aire aspirado se calienta previamente, se mejora la difusión de la nafta gasificada en él. La forma más simple de precalentar el aire de aspiración, es colocar la toma en forma de una camisa alrededor del caño de escape que conduce los gases ya quemados a la atmósfera. Esos gases están aún calientes, de modo que por simple contacto con las paredes se puede obtener la elevación de temperatura necesaria en el aire de aspiración. Otros sistemas emplean una camisa de agua caliente en el carburador, y otros hacen pasar la mezcla de aire y nafta por un conducto calentado por los gases de escape.

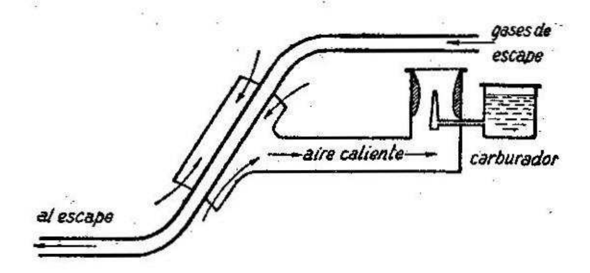


Fig. 101. — Precalentador del aire de aspiración que utiliza el calor de los gases de escape.

Día 9

Nuestro motor a explosión, tratado en los dos días anteriores, ya funciona pues conocemos la manera de pulverizar la nafta y mezclarla con el aire para enviarla a los cilindros. Pero recordemos que se habló de que en el momento en que la mezcla gaseosa está comprimida al máximo en la cámara de combustión, aunque en realidad no es precisamente en ese momento sino un poquito antes, debemos producir una chispa para inflamar esa mezcla. Durante la descripción de los motores no le dimos mayor importancia a esa chispa, pero es fácil entender que si no se produce, y bien, la combustión no ocurrirá y el motor deja de funcionar.

Es evidente la necesidad de ocuparnos de la chispa de ignición o de encendido, ya que se la llama de ambas maneras, y de los dispositivos encargados de producirla, y precisamente en el cilindro y en el momento oportuno. El sistema de encendido en el motor a explosión es muy importante, y de paso digamos que todo lo que estudiaremos hoy sirve para los motores a gas, que también fueron estudiados, y en cuya oportunidad dejamos el tema de la ignición para ahora. Los motores Diesel no requieren encendido, o si lo usan, lo hacen solamente para el arranque, según veremos.

ENCENDIDO Y ACCESORIOS ELECTRICOS

Sabemos que el motor a explosión pertenece al grupo de los de baja presión y por lo tanto requiere una chispa para que la mezcla carburante comprimida entre en combustión. Esa chispa debe ser oportuna y, en los motores multicilíndricos, ocurrir únicamente en los instantes y cilindros que corresponden.

El conjunto de dispositivos que intervienen en la producción y distribución de la chispa se llama *sistema de ignición* o también *de encendido*.

Por razones prácticas la ignición se realiza por procedimientos eléctricos ya que se requiere una chispa de corta duración y una gran velocidad en el proceso. Los fenómenos eléctricos tienen tales características, por lo que se han adoptado definitivamente.

Ahora bien, de entre los sistemas eléctricos hubo que elegir los capaces de producir una chispa de suficiente intensidad como para asegurar la combustión de la mezcla carburante. Es decir que se requiere una tensión eléctrica elevada e instantánea. Hay dos sistemas prácticos para conseguir ese objeto y que se emplean: son los generadores eléctricos y los transformadores. Los sistemas de ignición que emplean los generadores, toman el nombre de los mismos, que se han llamado *magnetos*. Dentro de éstos hay dos tipos; los de baja y los de alta tensión. El sistema que emplea el transformador se llama *a bobina de inducción*.

Encendido por magneto

Según el principio de funcionamiento de los generadores electromagnéticos diremos que basta que un conductor o espira gire dentro de un campo magnético para que se induzca una tensión entre los bornes o extremos de la espira. Cerrando el circuito exterior circulará una corriente.

Hasta aquí mencionamos un fenómeno interesante. Debe disponerse ahora la forma de recoger la corriente para el circuito exterior y ello se realiza mediante escobillas rozantes, puesto que girando la espira tiene que haber forzosamente un contacto entre una parte fija y una móvil.

En los generadores de corriente continua hay que disponer por lo menos de dos escobillas, que rozarán sobre sectores o delgas aisladas del

colector, el cual tiene por objeto enderezar y rectificar la tensión alterna que se obtiene en la espira elemental.

Considerando las características de la tensión eléctrica que se obtiene sin colector se comprende de inmediatamente que es alternada, lo cual no constituye ningún inconveniente para el uso a que se destina: producir chispas en las bujías.

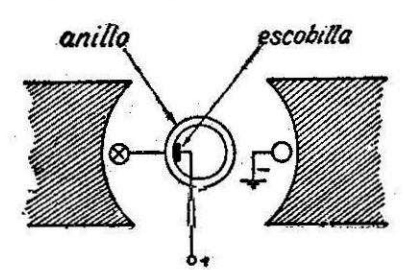


FIG. 102. — Principio del anillo rozante en un generador de corriente alternada, en el cual uno de los bornes va a masa.

De acuerdo con esto, para recoger la corriente inducida basta una escobilla que roce contra un anillo aislado del eje del inducido girante. Esta escobilla constituye el borne *vivo* vulgarmente denominado *positivo*, pese a que la tensión es alternada. La figura 102 muestra el esquema que corresponde a lo dicho. Uno de los bornes de la bobina se conecta al anillo y mediante la escobilla que roza contra él se pasa al exterior. El otro borne o terminal de la bobina se conecta a masa y mediante el contacto entre el eje y los cojinetes se pasa también al exterior; es el borne *masa* o *negativo*.

Una vez descripto el principio de funcionamiento de un magneto pasemos a ver la forma y ubicación de cada una de sus partes.

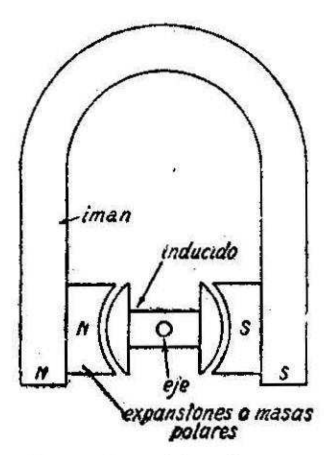


FIG. 103. — Corte esquemático de un magneto que muestra la posición de las partes de hierro del mismo.

En primer lugar la figura 103 muestra un corte transversal de la parte magnética que comprende el inducido, los imanes inductores y las expansiones o piezas polares que forman el hueco cilíndrico para el giro del inducido. En las cavidades laterales del inducido se colocará el bobinado mediante un arrollamiento.

Debido a que las tensiones en juego tienen carácter alternado, aparecen en las masas metálicas en movimiento corrientes parásitas que calientan dicha masa metálica. Para aminorarlas se aumenta la resistencia a su circulación construyendo el núcleo de hierro del inducido con chapas yuxtapuestas. La figura 104 muestra la disposición correspondiente, notándose la colocación de las chapas, la cavidad para el arrollamiento y las tapas o piezas frontales en las que se sujeta el eje, dividido en dos trozos, uno para cada extremo. Para sujetar el paquete de chapas se pasan cuatro pernos roscados de extremo a extremo que presionan las tapas contra las chapas.

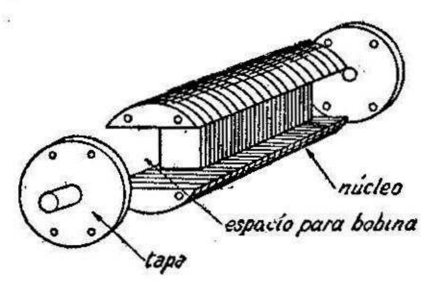


FIG. 104. — Despiece del inducido a rotor del magneto, en el que puede verse la cavidad para alojar el bobinado.

Finalmente la figura 105 muestra un corte longitudinal en el que puede notarse que el inductor está formado por varios imanes alineados. Se nota también el inducido con el bobinado colocado, el eje con su anillo aislado sobre el que roza la escobilla y demás piezas que integran el magneto.

Otro detalle de sumo interés en el sistema de encendido es la forma como se obtiene un breve impulso de tensión para producir una sola chispa y en la bujía que interesa. Tal cosa se consigue mediante el conjunto ruptor-distribuidor que se ilustra en la figura 106.

El mecanismo consiste en dos secciones, una de las cuales se encarga de producir la oportunidad del impulso de tensión y la otra de aplicarlo a la bujía que en ese momento debe producir la chispa.

El *ruptor* no es otra cosa que un brazo movible que cierra un contacto en uno de sus extremos y lo abre cuando un dado fijo al eje, lo levanta. Un resorte lo mantiene en la posición de descanso. Los contactos se llaman *platinos*.

En este ruptor se producen interrupciones de un circuito eléctrico o sea chispas en el contacto. Para aminorar este efecto se coloca en paralelo con los bornes un capacitor de absorción. Se explica su acción si se piensa que las chispas o arcos eléctricos dan origen a corrientes de alta frecuencia para las cuales el capacitor es un cortocircuito y las elimina.

El *distribuidor* no es otra cosa que un brazo que gira junto con el eje del ruptor y va cerrando el circuito sobre bornes en número igual al de bujías y conectados a las mismas. Dado

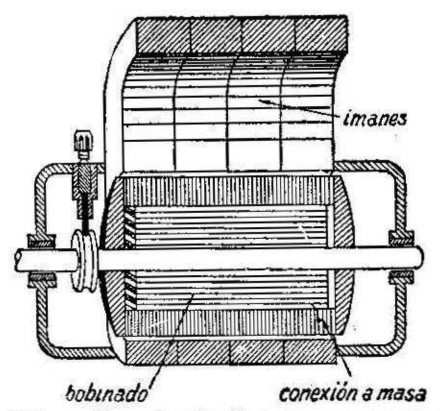


Fig. 105. — Corte longitudinal de un magneto mostrando el borne aislado con la escobilla rozante.

que se tienen tensiones elevadas en esta parte del circuito, no hace falta que el brazo del distribuidor roce sobre los sectores o contactos, pues el circuito se cierra por el arco eléctrico que se produce al pasar el primero muy cerca de los segundos.

En los motores de explosión suele combinarse el movimiento del eje del magneto, ruptor y distribuidor con el del motor mediante un par de engranajes, uno de los cuales es accionado por el motor y el otro pertenece al sistema de encendido.

Pasemos ahora al circuito completo del sistema de encendido por magneto, que puede verse en la figura 107. El conjunto de partes que aparece en la figura puede estar todo o casi todo contenido en un solo block. Por lo pronto, el eje del magneto, distribuidor y ruptor es único. El transformador que aparece en la figura sirve para elevar la tensión del magneto hasta

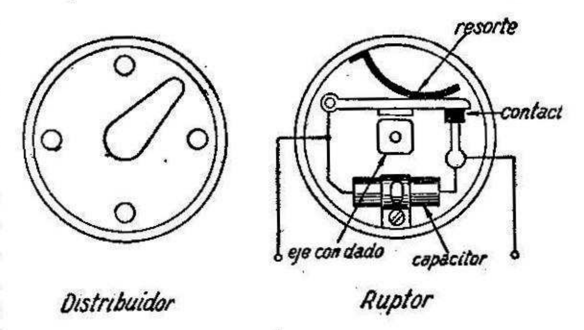


Fig. 106. — Vista esquemática del distribuidor y el ruptor de un sistema de encendido para un motor a explosión.

algunos miles de Volt que se necesitan en la bujía.

Hemos dicho que había magnetos de alta y de baja tensión. El ilustrado en la figura 107 corresponde a un sistema de baja tensión, puesto que necesita el transformador elevador. En los magnetos de alta tensión el inducido tiene dos bobinados, primario y secundario, de modo que entrega directamente la tensión elevada para las bujías.

En rigor, en el sistema de encendido por magneto no haría falta el ruptor pues el distribuidor se encarga de que la chispa se produzca sólo en una bujía por vez. Se lo incluye para mejorar su funcionamiento, disponiéndose así de alta tensión solamente en el instante en que hace falta. En todos los casos el ruptor se intercala en la bobina o circuito primario.

Si bien la bujía es un elemento que se emplea en todos los sistemas de encendido, veamos

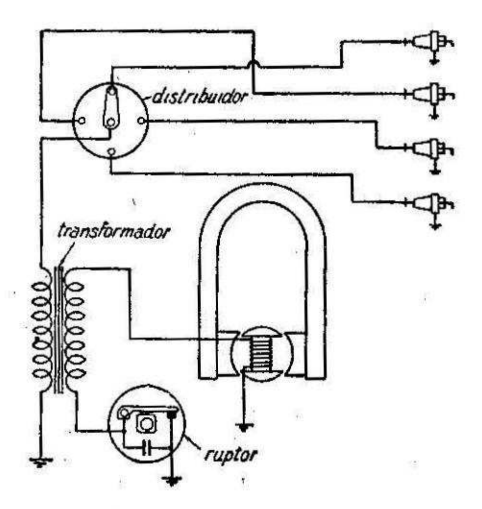


Fig. 107. — Esquema general del sistema de encendido por magneto para un motor de cuatro cilindros.

uno de los tipos corrientes que se encuentran en los motores a explosión, mostrado en la figura 108. La bujía no es otra cosa que un par de conductores de alto punto de fusión, colocados muy cerca uno del otro, estando el central muy bien aislado del otro, que está a masa. Ese par

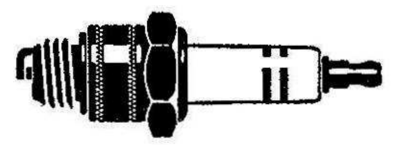


Fig. 108. — Bujía para encendido de motores a explosión.

de contactos, que se ven a la izquierda en la figura, forman la razón de ser de la bujía, pero como hay que colocarlos dentro del motor, precisamente en la cámara de combustión, hay que asegurarlos a una pieza roscable. En la tapa del motor hay unos orificios, uno para cada cilindro, con rosca, que permiten atornillar la bujía. Es común que se cuenten las bujías en un motor para saber el número de cilindros que tiene.

En el extremo opuesto a los contactos, tiene un cuerpo metálico, fijo al cuerpo general de porcelana, que está allí para conectar el cable que viene del dispositivo de alta tensión, sea éste a magneto o a bobina.

Encendido con bobina y batería

En motores a explosión donde se pueda disponer de una batería de acumuladores no se

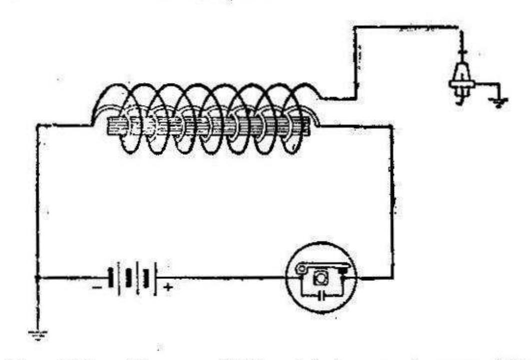


Fig. 109. — Esquema básico del sistema de encendido por bobina y batería.

emplea el encendido por magneto sino el transformador, vulgarmente llamado *bobina*.

En esencia el sistema está explicado en la figura 109 y puede verse que consta de la batería, el ruptor y un transformador. Su funcionamiento se cumple de la manera siguiente:

El eje del motor acciona mediante un dispositivo al eje del ruptor, de modo que el circuito serie formado por la batería, el primario y el ruptor se interrumpe cada vez que haga falta una chispa en la bujía. La interrupción de corriente en el bobinado primario produce una brusca variación en el campo magnético, la cual induce en el arrollamiento secundario una tensión breve pero muy elevada que puede aplicarse directamente a la bujía.

La razón de necesitarse un transformador en lugar de un simple bobinado está en que la tensión de la batería es muy baja, generalmente 6 Volt, con lo que no podría alimentarse un bobinado de muchos miles de espiras. Por ello el

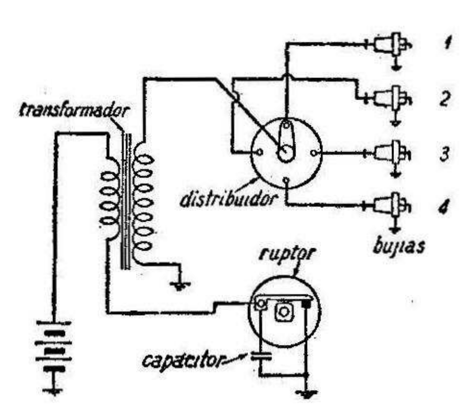


Fig. 110. — Sistema de encendido por bobina y batería aplicado a un motor de cuatro cilindros.

primario se hace con alambre grueso y pocas espiras, y se le aplica directamente la batería pasando por el ruptor. Sobre ese bobinado se arrolla el secundario de alambre muy delgado, en el cual pueden inducirse tensiones elevadas con sólo interrumpir la corriente en el circuito primario. Se comprende de inmediato que el sistema es más simple que el de magneto, si bien necesita una batería auxiliar.

Para aplicar este sistema de encendido a un motor policilíndrico, se sigue el esquema de la figura 110, que corresponde a un motor de cuatro cilindros. Se nota que hace falta otra vez el distribuidor, cuya misión ya conocemos. Los demás elementos del circuito son los mismos que para el caso de un solo cilindro.

Para aclarar al lector la posición de los elementos que constituyen el sistema de encendido y los aspectos que presentan, la figura 110 A muestra tal disposición. El interruptor general adopta la forma de una cerradura que cierra el circuito mediante la llave de contacto; del distribuidor salen los cables que van a las bujías,

mientras que el central va al centro de la bobina y los otros dos cables van a masa y al negativo de la bobina. El positivo de esta última va a un polo de la llave de contacto.

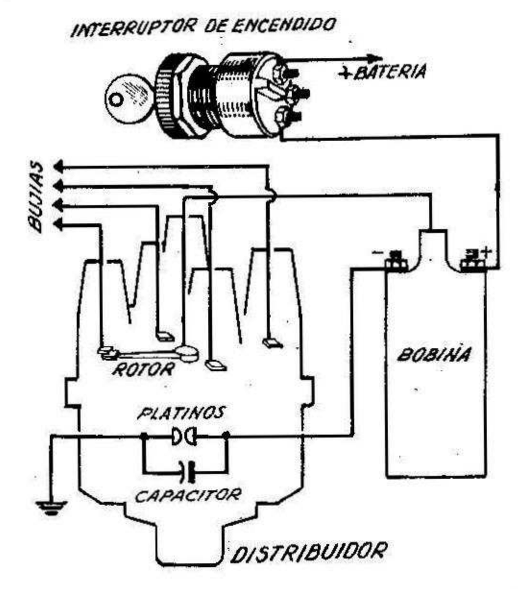


FIG. 110 A. — Disposición de los elementos en el sistema de encendido de la figura 110.

Es importante destacar que algunos motores llevan a masa la conexión del negativo de la batería, mientras que otros lo hacen a la inversa, conectando a masa el positivo. Esto es importante verificarlo en el motor cuando deban removerse las conexiones.

Así como contando las bujías se determinaba la cantidad de cilindros que tenía un motor, observando un distribuidor, uno de cuyos modelos se ve en la figura 111, se hace la misma deducción. En efecto, del distribuidor sale un cable central que va al transformador o bobina de alta tensión, y tantos cables laterales como cilindros haya, pues va uno para cada bujía. Esto se ve en la figura 111 pero sale del esquema de la figura 110.

Es importante destacar que si se sacan los cables del distribuidor hacia las bujías, no se

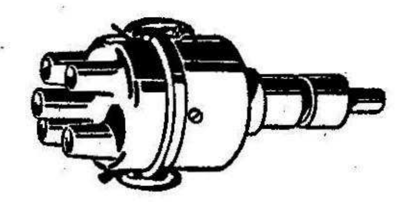


FIG. 111. — Aspecto del distribuidor para un motor de 4 cilindros.

pueden volver a colocar en cualquier forma, sino que hay que hacerlo según el orden de encendido. Esto lo estudiamos al ocuparnos de la figura 84. Dentro del distribuidor están los elementos contenidos en los dos circulitos de la figura 110, es decir el brazo giratorio de contactos, el ruptor y el capacitor.

El sistema de encendido que acabamos de describir presenta dos inconvenientes importantes que han estimulado la creación de otros tipos que describiremos. El primer inconveniente es que se produce un desgaste grande de los platinos porque ellos interrumpen corrientes fuertes; esto obliga a limpiezas periódicas y recambios frecuentes. El segundo inconveniente es que la tensión inducida en el secundario de la bobina depende del tiempo de extinción de la corriente primaria y éste, a su vez, depende de la velocidad de giro del motor; se produce entonces una chispa pobre a bajas revoluciones lo que constituye un problema que las fábricas han tratado de solucionar de diversas maneras.

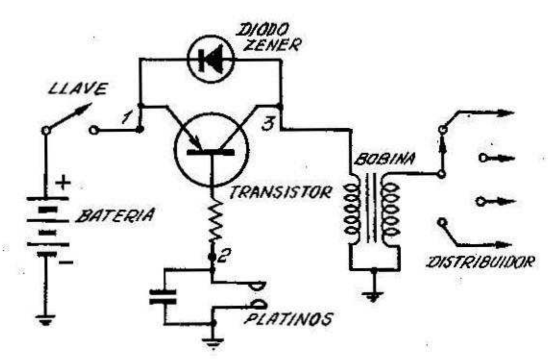


FIG. 111 A. — Esquema básico del sistema de encendido a transistores.

Encendido a transistores

La aparición de los transistores ha permitido solucionar el inconveniente del encendido que acabamos de describir, si bien debemos aclarar que esta novedad se está incorporando paulatinamente a los motores de combustión, porque representa un costo adicional. Veamos de qué manera funciona este sistema de encendido, cuya parte fundamental se muestra esquemáticamente en la figura 111 A.

El transistor, representado por el círculo mayor, presenta la particularidad de ofrecer baja o alta resistencia a la circulación de la corriente según sea el potencial aplicado a su base, que es la raya gruesa horizontal. Cuando los contactos o platinos del distribuidor están cerrados la base tiene un potencial casi igual al del co-

lector, que es la rayita oblicua sin flecha, y entonces la resistencia interna será muy baja y circula corriente entre colector y emisor; este último es la rayita oblicua con flecha. Al circular corriente por el transistor se excita la bobina

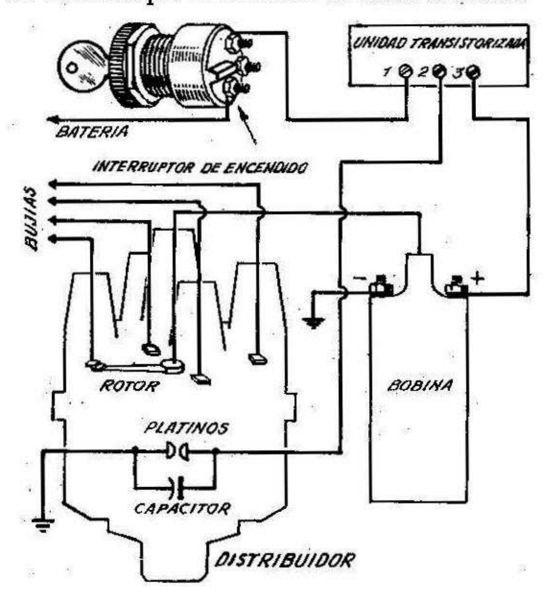


FIG. 111 B. — Disposición de los elementos en el sistema de encendido a transistores.

y se produce la alta tensión en el secundario, y con ello la chispa en la bujía que corresponda. En cambio, cuando los platinos están abiertos, la base queda sin potencial y la resistencia interna del transistor será alta, no circulando corriente por el mismo ni por la bobina, con lo que no habrá chispa en ninguna bujía.

Obsérvese que, con lo dicho, los platinos del distribuidor sólo cortan la muy pequeña corriente de base del transistor, mientras que la alta corriente del primario de la bobina la interrumpe el transistor mismo, que está capacitado para hacerlo, además de no tener contactos mecánicos.

Falta explicar la presencia del círculo más chico, que lleva la leyenda *diodo Zener*. Ocurre que los transistores soportan entre sus electrodos tensiones perfectamente especificadas por la fábrica, y se dañan si esas cifras son excedidas. Cuando se abren circuitos se producen sobretensiones instantáneas si en los mismos hay bobinas intercaladas, cosa que tenemos en este caso. El diodo Zener absorbe la sobretensión producida permitiendo la circulación de corriente en sentido contrario, formando una especie de cortocircuito sobre el transistor.

Veamos ahora la disposición completa del encendido a transistores, tal como lo muestra la figura 111 B. Digamos que la bobina que aparece en este montaje no es igual a la que teníamos en el sistema de encendido convencional, sino que tiene una relación de espiras de 300:1 en lugar de la relación 100:1 que es usual en el otro sistema. La unidad transistorizada que aparece en el rectangulito superior puede ser la que mostramos en la figura 111 A, para lo cual tomamos de ella sólo la parte comprendida entre los números 1, 2 y 3 que también vemos en el rectángulo de la figura 111 B. Los demás elementos de la figura ya son conocidos, pues el distribuidor con su ruptor rotativo, los platinos y el capacitor lo habíamos visto en la figura 110 A.

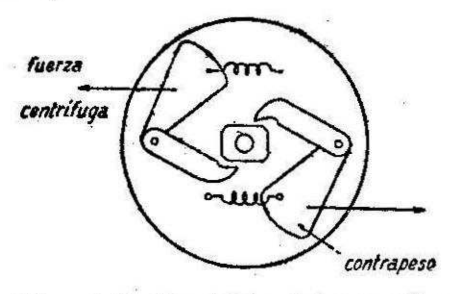


FIG. 112. — Aplicación del regulador centrífugo al dado del ruptor del circuito de encendido.

Es de hacer notar que la unidad transistorizada que hemos descripto no es la única que se emplea en la actualidad, pues hay muchas, con diferencias circuitales diversas, pero el principio de funcionamiento es similar en todas. En otro libro de esta colección se ahonda más sobre este tema (Aprenda Electrónica en 15 días).

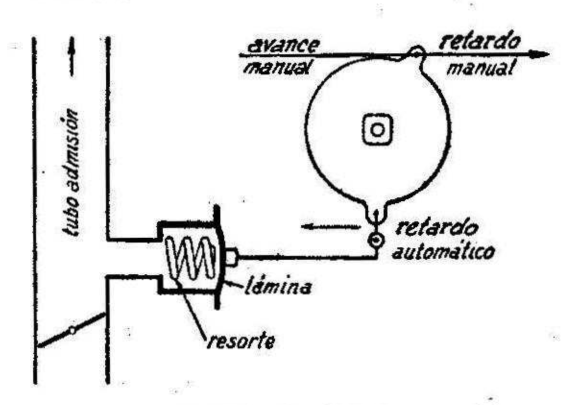


FIG. 113. — Aplicación del regulador a vacío para altas velocidades en el sistema de encendido del motor. Funciona de manera contraria al regulador centrífugo de la figura 112.

Regulación del encendido

De acuerdo con la velocidad del motor es necesario anticipar más o menos la producción de

la chispa en el cilindro, y esto se hacía primitivamente a mano, girando levemente el plato del ruptor de manera que se abra el circuito con un poco de anticipación. La pieza cuadrangular actuaba sobre el brazo, no en el momento en que el pistón llega al punto muerto superior, sino algo antes y variable a voluntad. Hoy día hay reguladores automáticos del avance del encendido, que funcionan de dos maneras distintas: a centrífugo y a vacío.

El regulador *centrífugo* consta de un dispositivo como el de la figura 112, con dos contrapesos soportados por resortes, y fijos al plato giratorio del ruptor. Unas palancas de los mismos actúan sobre el dado del ruptor desplazándolo angularmente. Cuando gira el plato, la fuerza centrífuga actúa sobre los contrapesos, y los aleja del eje más o menos, según la velocidad del motor. En esta forma el avance al encendido es mayor cuanto más rápido marcha el motor, que es lo que se desea. Pero hay otro detalle a tener en cuenta y es el caso que se exija al motor un esfuerzo considerable, como el de subir una cuesta por ejemplo. En tales casos se debe retrasar el encendido y ello puede hacerse a mano, pero hay un dispositivo que lo hace automáticamente. En efecto, cuando se sube una cuesta el acelerador está generalmente abierto al máximo, y se produce una succión grande en el tubo de admisión, es decir un vacío, lo que permite aprovecharlo para accionar la placa del ruptor. El sistema se llama *a vacío* y está esquematizado en la figura 113. El tubo de admisión comunica con una cámara que tiene una lámina elástica soportada hacia afuera por un resorte. Cuando se produce el vacío en el tubo de admisión, la lámina es empujada hacia adentro por la presión atmosférica exterior, y se actúa sobre el plato del ruptor girándolo en sentido contrario al de avance del encendido.

Para disponer de un buen efecto automático de regulación del encendido se necesitan entonces los dos sistemas de regulación, el centrífugo y el de vacío, que actúan en sentidos contrarios pero que no se interfieren, pues cuando uno trabaja el otro no está afectado por las condiciones de marcha.

Evidentemente en los motores fijos la regulación suele hacerse a mano, teniendo para tal fin una pequeña manija, y ello porque no es frecuente la necesidad de alterar el avance del encendido, salvo que se deba alterar la velocidad del motor.

En el arranque debe cuidarse de no exagerar el avance del encendido, pues la explosión anticipada puede alcanzar al pistón antes que llegue al punto muerto superior haciéndolo retroceder, girando el motor en sentido contrario. Si el arranque se estaba haciendo con una manija es fácil prever que sufra un accidente el operador. Una vez que el motor arranca puede graduarse el avance al encendido, de acuerdo con la velocidad que deba darse al motor.

DISPOSITIVOS ELECTRICOS AUXILIARES

Muchos vehículos emplean motores a explosión o tipo Diesel, y en ellos se encuentran dispositivos accesorios que conviene conocer. Por ejemplo tenemos el generador para cargar la batería, la bocina, el motor de arranque, los indicadores de nivel de combustible, etc. Veamos su funcionamiento.

Generador o dinamo

El circuito de carga de la batería emplea un generador de corriente continua para ese fin, de diseño especial, pues tiene tres escobillas en el colector. Además, hay un dispositivo encargado de conectar la batería sólo en el momento oportuno. La figura 114 reproduce, esquemáticamente, el circuito del generador y batería con el disyuntor de cierre y apertura del circuito.

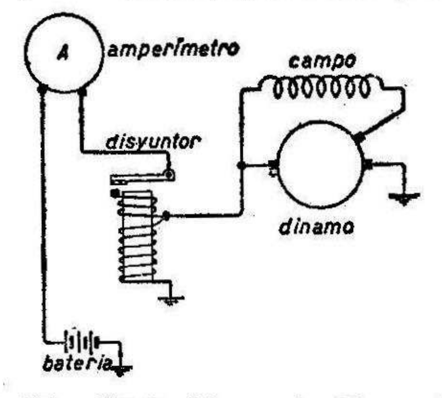


FIG. 114. — Circuito del generador del automóvil.

El generador es del tipo de excitación en derivación, pero el bobinado de campo no se conecta entre las dos escobillas principales, como es común en generadores eléctricos, sino entre una principal y la auxiliar. La razón es la siguiente:

Para cargar una batería de acumuladores, es menester mantener la tensión lo más constante

posible, y como un generador de continua del tipo común sólo cumplirá con ese requisito si no varía la velocidad de giro, en nuestro caso no podremos mantener la tensión, ya que la velocidad del rotor de la dinamo estará determinada por la del automóvil; en efecto, la dinamo está movida por el motor mismo, mediante un juego de acoplamiento. Por este motivo se emplea la tercer escobilla. Como al aumentar la velocidad aumenta la tensión en el

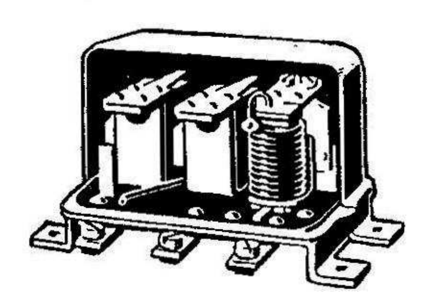


FIG. 115. — Aspecto de un disyuntor moderno de tres secciones.

generador, se produce una deformación del campo magnético inductor, que lo debilita. Colocando la escobilla auxiliar en un lugar tal, que tome corriente de un punto donde el efecto de la deformación sea máxima, se consigue una excitación menor, pero que está afectada mucho por la velocidad del rotor. De esta manera, a medida que aumenta la velocidad se reduce la corriente de campo, y ambos efectos se compensan mutuamente, manteniéndose la tensión en los bornes del generador bastante constante. Sin embargo, la regulación por tercera escobilla no es suficiente, y se coloca por ello el disyuntor.

Tal disyuntor es un electroimán, cuya armadura está sostenida hacia arriba por un resorte. Tiene dos bobinados, uno a conectar en serie con el circuito y otro en paralelo con el generador. Cuando la tensión del generador es mayor que la de la batería, el bobinado paralelo produce una atracción sobre la armadura que vence al resorte y se cierra el circuito, comenzando a cargarse la batería. Normalmente se ajusta ese resorte de manera que el circuito se cierra cuando el generador tenga una tensión entre bornes de 7 Volt, más o menos.

Los disyuntores modernos han sido modificados sustancialmente con respecto al ilustrado, y se hacen con dos y con tres secciones, para asegurar que la carga de la batería se haga con la tensión y corriente debidas y que se suspenda cuando está terminada la carga. La figura 115 nos muestra un modelo de disyuntor completo, de tres secciones, muy difundido en automotores. La figura 116 nos muestra el generador con el disyuntor adosado, aunque muchas veces el disyuntor se coloca aparte y no sobre el generador.

Volviendo a la figura 114, diremos que el amperímetro indica la carga de la batería, y tiene una escala doble, para indicar también la descarga. El cero está en el centro, de modo que el consumo de los circuitos diversos se marca hacia un lado y la intensidad de carga hacia el otro. En cuanto se inicia la carga, el bobinado serie queda con corriente y mantiene cerrados los contactos del electroimán. Cuando la batería está completamente cargada, la corriente de carga se reduce lo suficiente como para que el bobinado serie quede débilmente excitado, el resorte vence la atracción magnética, y el circuito se abre. Actualmente se han dejado mucho los generadores de tres escobillas y se usan los comunes. Los disyuntores se han perfeccionado notablemente y la carga de batería es normal.

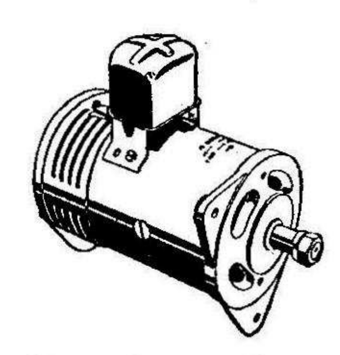


FIG. 116. — El generador con su disyuntor colocado.

Alternador

La dinamo o generador de corriente continua para cargar la batería que se ha usado en los automotores hasta el presente tiene varios inconvenientes que han hecho que se adopte en forma cada vez más generalizada el alternador, o sea un generador de corriente alterna que, una vez rectificada, sirve para cargar la batería. Este libro no está dedicado al estudio de las máquinas eléctricas, de modo que solo daremos una explicación sintética del funcionamiento de estos generadores modernos.

Para uso en el automotor se emplea generalmente un modelo especial de alternador, conocido como sistema Lundell, cuyo corte es-

quemático se ve en la figura 116 A. Como todo alternador tiene dos secciones importantes: el inductor y el inducido, o sea dos bobinados. El inductor está en el rotor y debe ser alimentado con corriente continua, la que se toma de la batería; el inducido está en el estator y es del tipo trifásico, recogiéndose en el mismo la corriente inducida, que es alternada. El rotor está formado por dos discos paralelos (1) con partes salientes que forman los polos del inductor; entre los dos discos está alojado el bobinado (2) que formará el campo magnético necesario.

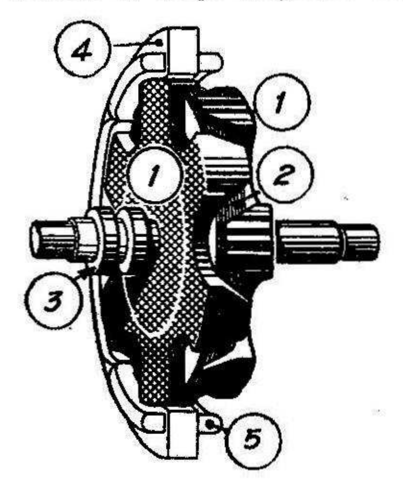


FIG. 116 A. — Corte esquemático de un alternador para automotor.

Para que la corriente continua de la batería llegue a este bobinado hay dos anillos (3) sobre los que rozan escobillas; una va a masa y otra al positivo de la línea de la batería. El estator tiene un núcleo (4) con ranuras en las que se alojan los tres bobinados (5) para formar un sistema trifásico; se adoptó este sistema para que la rectificación dé una corriente continua más pura, sin residuos de alterna.

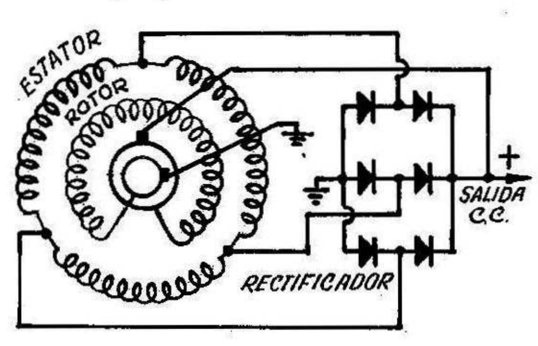


FIG. 116 B. — Circuito del alternador para automotor con el puente de rectificadores incluido.

El circuito general del alternador y del rectificador adosado se ve en la figura 116 B. Las bobinas del rotor giran con él, mientras que las del estator son fijas. Como se usa un sistema rectificador en puente, se requieren 6 rectificadores, y se usan los llamados *silicones* que son diodos sólidos de gran duración y solidez constructiva.

A la salida del sistema se debe conectar un sistema de regulación de la tensión, similar al que explicamos en la figura 115 para aplicar a la dinamo; pero hemos dicho similar y no igual. Destacamos que los disyuntores que se emplean como reguladores para alternadores se fabrican especialmente para ellos. Hay también reguladores a transistores para aplicar a los alternadores, pero ese detalle es ya muy particular.

Bocinas

La bocina puede ser del tipo a diafragma o del tipo a motor. La del tipo a diafragma se ilustra esquemáticamente en la figura 117. Hay un electroimán alimentado por la batería y en serie con el cual se intercala un contacto móvil, similar al de las campanillas eléctricas. Mientras la lámina elástica está en su posición nor-

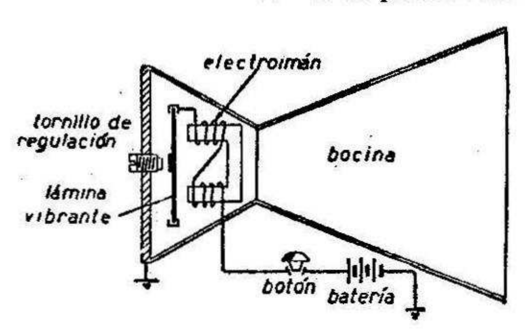


FIG. 117. — Bocina a electroimán y lámina vibrante.

mal el circuito está cerrado y pasa corriente por el electroimán en cuanto se oprime el botón. Al formarse un campo magnético la lámina se endereza, cierra el circuito y así sucesivamente. Se produce una rápida vibración de la lámina que provoca el sonido en el cono de la bocina.

Las bocinas a motor usan uno del tipo serie, en cuyo eje se coloca una rueda dentada en el sentido axial. Cuando se pulsa el botón gira el rotor y la rueda, moviendo una barra que hace vibrar la membrana elástica. En todos los casos se persigue producir una vibración mecánica que actúa sobre el aire en el cono, ya sea directamente o mediante cámaras acústicas

que producen sonidos del más variado tono. Hay además otros tipos que no mencionaremos por no ser ése el objeto de esta obra.

Motor de arranque eléctrico

Generalmente se emplea un simple motor con excitación en serie de dos o cuatro polos, excepcionalmente 6 polos. Un botón de contacto se intercala en serie con la alimentación de la batería al motor. El objeto de este motor es accionar el eje cigüeñal del vehículo durante el arranque, para que comiencen a producirse los ciclos de funcionamiento del motor. Toman una fuerte intensidad de arranque, pues siendo de potencias de 0,5 hasta 1,5 C.V., como la tensión es baja (6 V), la intensidad será muy grande (aprox. 60 A en muchos casos). Por este motivo, es raro que el botón gobierne directamente el circuito del motor, sino que se coloca un dispositivo electromagnético. Al cerrar el botón de arranque, se excita un electroimán que cierra el circuito principal de fuerte corriente.

Indicadores de nivel de combustible

En el tablero de instrumentos del automóvil suele haber un indicador del nivel de nafta en el tanque. Actualmente, tales indicadores son eléctricos, de control remoto, pues un indicador mecánico sería complicado. La figura 118 ilustra sobre uno de los tipos más comunes, *a resistencia.*

En el tanque hay un flotante, cuyo brazo mueve a una varilla en su movimiento ascendente-descendente. La varilla, a su vez, mueve a otro brazo, que es la manija de contacto de un reóstato, insertado en serie con un galvanómetro y la batería. Según el nivel del tanque, habrá más o menos resistencia intercalada, y con ello será distinta la pequeña intensidad de corriente que circula, obteniéndose una indicación en la escala del galvanómetro, que generalmente se marca con fracciones del tanque: vacío, ¼, ½, ¾ y lleno.

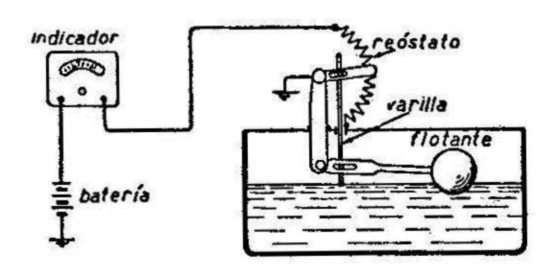


Fig. 118. — Indicador de nivel a resistencia variable.

Otro tipo de indicador es el ilustrado en la figura 119; es del tipo *termostático* con dos juegos bimetálicos, cada uno de los cuales tiene arrollado un alambre de nicrom que hace de resistencia de calefacción. El flotante gobierna una palanca que hace cerrar el circuito, calentándose el bimetálico, curvándose y abriéndolo nuevamente. Cuanto más lleno está el tanque, más tiempo permanece cerrado el circuito y mayor será el calor que actúa sobre el segundo bimetálico que mueve la aguja del indicador; viceversa, cuando el tanque está casi vacío, la mayor parte del tiempo el primer bimetálico permanecerá fuera de contacto, por estar lejos los contactos, y será poco el calor producido en la resistencia de la aguja, indicando el bajo nivel de nafta correspondiente.

Podríamos seguir describiendo dispositivos eléctricos auxiliares empleados en la práctica, pero se destaca que los mismos no son auxiliares del motor de explosión sino del automóvil o del avión, y por consiguiente no deben ser tratados en este libro, sino que deben buscarse en los textos especializados. Por otra parte, hemos debido acudir a términos y leyes de la electricidad, y eso no lo hemos estudiado en esta oportunidad; tal vez sería recomendable para los lectores que desconocen tales temas la lectura de algún libro de esa naturaleza.

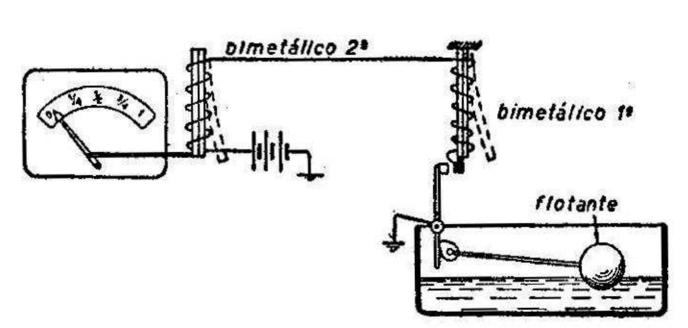


Fig. 119. — Indicador de nivel a lámina bimetálica.

Día 10

Después de conocer en detalle el funcionamiento de los motores a gas y de los motores a explosión, pasaremos a ocuparnos de los Diesel, que son los más interesantes por su robustez, buen rendimiento y economía de utilización. Es conocido el hecho de que los transportistas prefieren unidades equipadas con motores Diesel, y ello se debe a razones prácticas.

Si recordamos los detalles constructivos de los motores estudiados con anterioridad, podemos ahorrar muchas explicaciones, pues los pistones, bielas, cigüeñal, pernos, etc., son empleados en los motores Diesel, aunque tengan diferencias en el diseño. De este modo podremos dedicarnos de lleno a las particularidades de estos motores, que son interesantes y que deben conocerse a fondo. Destacamos desde ya que en ellos el cerebro principal es la bomba de combustible, así como en los motores a explosión era el carburador. La importancia de esta bomba y los diversos tipos que se emplean nos han decidido a estudiarla aparte, cosa que haremos en nuestra próxima jornada. Asimismo, dejaremos para otro día venidero el estudio de la lubricación y la refrigeración de los motores, tanto los Diesel como los tipos estudiados con anterioridad.

MOTORES DIESEL

Entre los motores de combustión interna, es el Diesel (así llamado en honor de su inventor) el de mayor rendimiento, robustez y economía de consumo, lo que explica la gran difusión alcanzada en su empleo. El perfeccionamiento alcanzado hoy día en el diseño y construcción es notable, y hace que se prefiera usarlo más que los otros tipos de motores, al extremo que ya reemplaza a los de explosión en los vehículos. La última conquista ha sido, sin duda, la incorporación de los Diesel a la aviación, cosa que al principio se creyó imposible.

La primer diferencia notable en el funcionamiento de los motores Diesel con respecto a los otros ya descriptos, es que aspiran y comprimen aire únicamente, pues sólo al final de la compresión se inyecta el combustible a presión, con lo que se consigue una combustión lenta y perfecta. Una bomba auxiliar tiene por única misión la de inyectar el combustible en el momento oportuno.

La segunda diferencia está en el hecho que como la presión de la compresión es mucho mayor que en los otros motores, la combustión de la mezcla es espontánea, es decir, no necesita la chispa de ignición para provocarla. Los motores Diesel carecen de sistema de encendido, salvo los que lo tienen para el arranque únicamente.

Y la tercer diferencia de consideración está en la forma que presenta el ciclo térmico de trabajo, cosa que veremos en detalle de inmediato.

El motor de cuatro tiempos

Veamos cómo se disponen los distintos elementos de los motores Diesel, para aclarar detalles sobre su funcionamiento. La figura 120 muestra un corte esquemático de un motor de cuatro tiempos, y se puede ver el pistón, el cigüeñal, la biela y el dispositivo de accionamiento de válvulas. El árbol de levas está acoplado mediante engranajes al eje principal, de modo que la leva que se ve en la figura levanta la barra y ésta, a su vez, empuja a la palanca que vence el resorte de la válvula. En el momento oportuno la válvula baja y deja entrar el aire, si es la de admisión, o deja salir los gases, si es la de escape. En la figura, como el corte es longitudinal, sólo se ve una válvula, pero hay dos por cada cilindro del motor. A un costado se puede ver la bomba de combustible, que descri-

biremos más adelante, y el conducto que va al inyector. Todas las partes del cilindro que están sometidas a elevación de temperatura, están rodeadas por una camisa de refrigeración, por la cual circula agua continuamente, agua que es enfriada en el exterior y vuelve a la camisa. En los motores de vehículos, se aprovecha el aire circulante para enfriar el agua, pero en las instalaciones fijas de gran potencia, el sistema de enfriamiento del agua adquiere mucha importancia, instalándose piletas o torres de enfriamiento, con circulación provocada por bombeo.

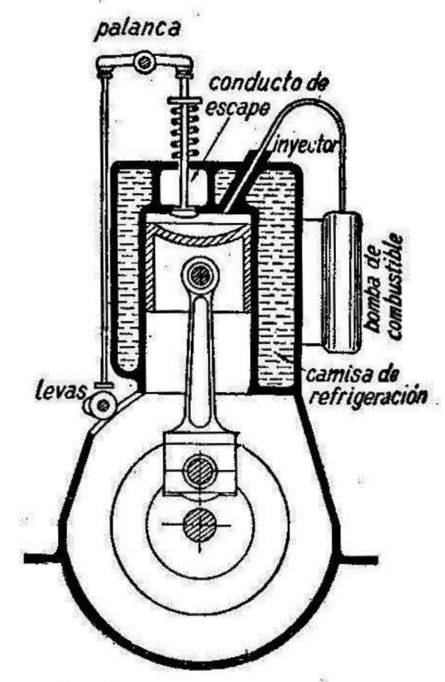


Fig. 120. — Corte de un motor Diesel de cuatro tiempos.

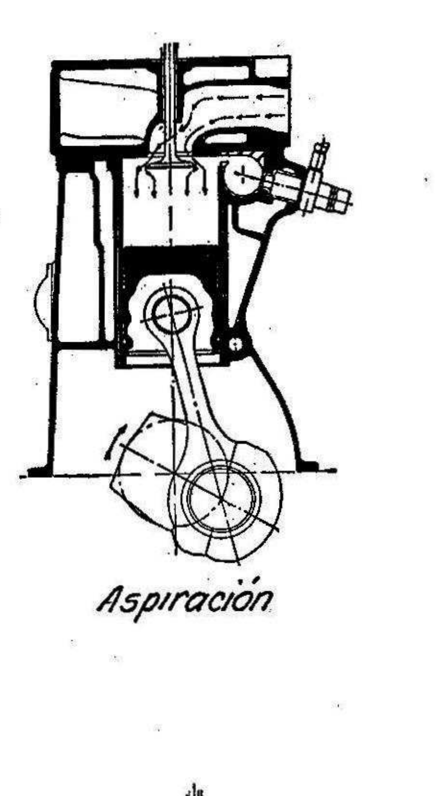
Veamos en detalle cómo se cumplen los cuatro tiempos del motor Diesel, para lo cual nos remitimos a la figura 121, que nos muestra las posiciones de los diferentes elementos. En la carrera de *aspiración* el pistón desciende y la válvula de aspiración está abierta. Ya sabemos que cada cilindro tiene dos válvulas, una para aire y otra para la salida de los gases de escape. Cuando el pistón llega al punto muerto inferior todo el cilindro se ha llenado de aire y comienza la *compresión,* segundo gráfico, con ascenso del pistón. Al llegar el pistón al punto muerto superior se debe inyectar el combustible pulverizado dentro de la cámara auxiliar, que es la que tiene sección circular a la derecha. De los inyectores y la bomba de combustible nos ocuparemos más adelante.

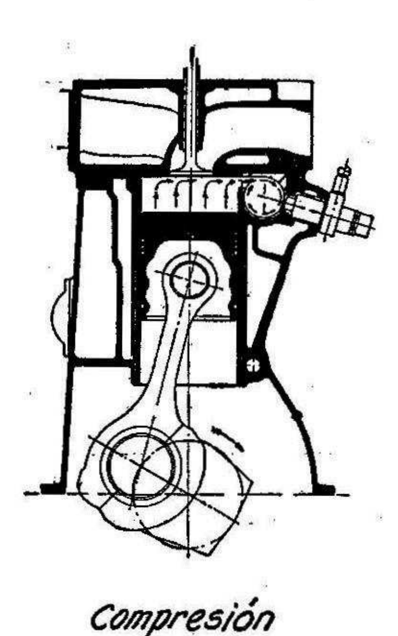
La alta presión reinante y la turbulencia que se produce al pulverizar el combustible en el aire que rota dentro de la cámara auxiliar, producen la combustión espontánea de la mezcla, sin necesidad de provocarla mediante una chispa, como ocurría en los motores a explosión. Comienza así la carrera de *expansión,* que corresponde al tercer gráfico. Terminada la expansión en el punto muerto inferior, el pistón comienza a ascender y barre los gases quemados por el conducto de *escape,* para lo cual la válvula correspondiente debe estar abierta. En el cuarto gráfico se ha dibujado tal válvula, para lo cual el corte hecho por el dibujante está un poco más atrás que el que vimos en los otros tres gráficos.

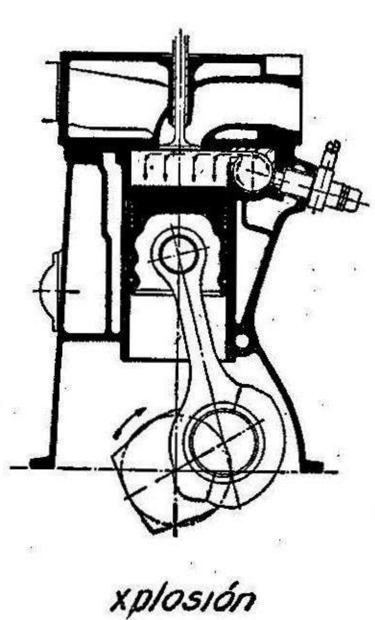
Ciclo de trabajo en cuatro tiempos

Con las explicaciones precedentes podemos estudiar el ciclo de trabajo de estos motores, en la forma como lo hemos hecho días anteriores para los otros tipos. Ya sabemos que esos gráficos representan en abscisas los volúmenes del cilindro y en ordenadas las presiones en el mismo.

La figura 122 muestra el diagrama de presiones y volúmenes. El eje horizontal da el volumen mínimo, que es el de la cámara de combustión, que llamamos v_0 y el total, dado por el volumen útil del cilindro sumado al de la cámara, y que llamamos v_1. El punto 1 marca la iniciación del ciclo, cuando el pistón comienza su aspiración, que llega hasta el punto 2, terminando el primer ciclo o carrera. La segunda carrera es de compresión adiabática, correspondiéndole a esta fase la curva 2-3, llegándose a la presión final de compresión que llamamos p_1, mientras que la atmosférica la designamos con p_a. Al llegar al punto 3 trabaja la bomba de combustible, inyectando un chorro en forma de fina lluvia, prácticamente gasificado. Para que sea posible esto, la bomba debe trabajar con mayor presión que p_1. En el punto 3, entonces, comienza la tercer carrera y tiempo del motor, siendo la recta a presión constante 3-4 representativa del período de combustión. Esta combustión se realiza espontáneamente, ya que la elevada presión ha hecho subir la temperatura y se provoca espontáneamente la iniciación de la combustión, que se propaga velozmente a toda la mezcla. Hay un leve aumento de volumen, pues desde que se inicia el proceso la presión hace mover al pistón, pero la verdadera







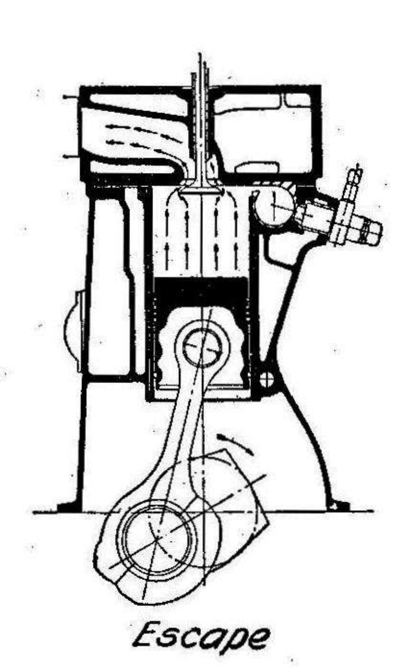


FIG. 121. — Los cuatro tiempos de un motor Diesel. Al costado y a la derecha de la cámara de combustión se ve una segunda cámara de forma circular, que es la de turbulencia; la misión de la misma será explicada más adelante.

expansión comienza en 4 y termina en 5, siendo de carácter adiabático, pues su corta duración no permite intercambio de calor con el exterior en forma notable. En el punto 5 se abre la vál-

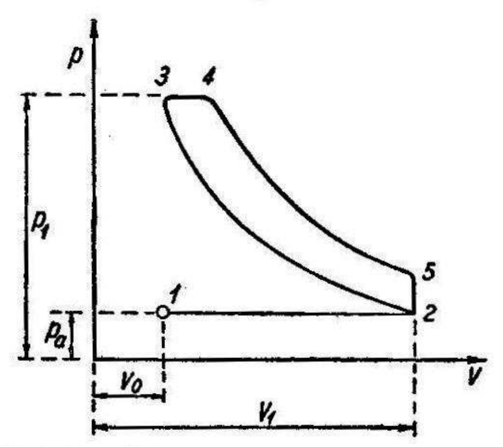


FIG. 122. — Ciclo de trabajo del motor Diesel de 4 tiempos.

vula de escape, un poco antes de llegar el pistón al final de su carrera, lo que sabemos que constituye el *avance al escape*, y cuya misión es evitar la contrapresión cuando el pistón invierte su sentido de marcha. En el punto 2, fin del tercer tiempo y carrera, comienza el cuarto, que es el de barrido de los gases quemados, y que termina en el punto 1. En realidad, los puntos de inicio y fin de cada ciclo no pueden determinarse por puntos del diagrama, pues los avances y retardos en la admisión y el escape hacen que tales puntos sean más bien zonas. La admisión se abre un poco antes de llegar el pistón al punto 1, para que la entrada de aire fresco ayude a limpiar completamente el cilindro, a cuyo objeto, la válvula de escape se demora en su cierre. Todos estos detalles son muy similares a los que ya hemos descripto para otros motores, de modo que no insistiremos en ellos. Sabemos también que el avance o el retardo en la apertura o cierre de una válvula, se traduce en un corrimiento angular de la leva correspondiente a esa válvula, la que deberá ser girada en el sentido de giro del árbol de levas, cuando hay un avance, y en sentido contrario, cuando hay un retardo.

Angulos de trabajo

Tal como lo hicimos con otros motores, veamos en la figura 123 el diagrama que muestra los ángulos de trabajo en un motor Diesel de cuatro tiempos. Interesa especialmente ver los ángulos de avance y retardo en la inyección y en las válvulas, pues sabemos que ello no ocurre exactamente en los puntos muertos de la carrera del pistón. Como en el motor Diesel este diagrama es más complicado que para los motores a explosión, evitamos el uso de letras indicativas, las que se sustituyen por leyendas completas.

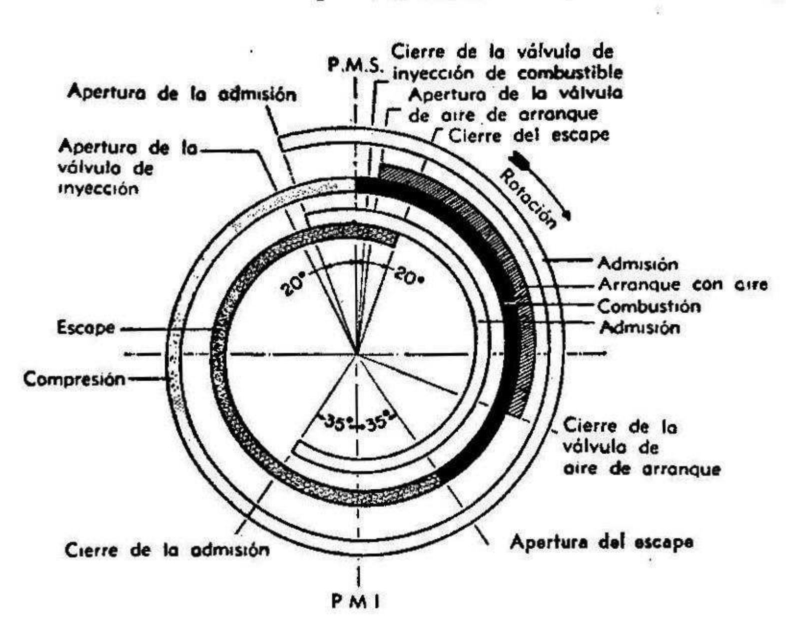


FIG. 123. — Diagrama circular que muestra los ángulos reales de trabajo del motor Diesel de 4 tiempos P.M.S. y P.M.I. son los puntos muertos superior e inferior.

En el gráfico se incluye el sector correspondiente al arranque, y los demás indican la ad-

misión, compresión, inyección de combustible, expansión y escape. Los retardos y avances de apertura y cierre de las válvulas están indicados como ángulos de giro de manivela o cigüeñal, como es de práctica. El mismo procedimiento se sigue con la apertura y cierre del inyector de combustible.

El motor de dos tiempos

El motor de dos tiempos difiere constructivamente del de cuatro, en lo que puede verse en la figura 124. No hay válvulas, sino lumbreras de admisión y escape, y están ubicadas en una región intermedia del cilindro y no en su extremo. El pistón, biela, cigüeñal, cilindro y camisa de refrigeración, difieren poco del otro tipo de motor. Pero obsérvese la entrada de aire, que en este modelo se hace por un costado del cárter o recinto inferior que contiene al cigüeñal; el cárter debe ser cerrado en estos motores porque sirve de bomba de aire. El pistón en su movimiento ascendente produce una aspiración en el cárter, por lo que entra aire por la válvula lateral. En el movimiento descendente, el mismo pistón impulsa al aire del cárter por el con-

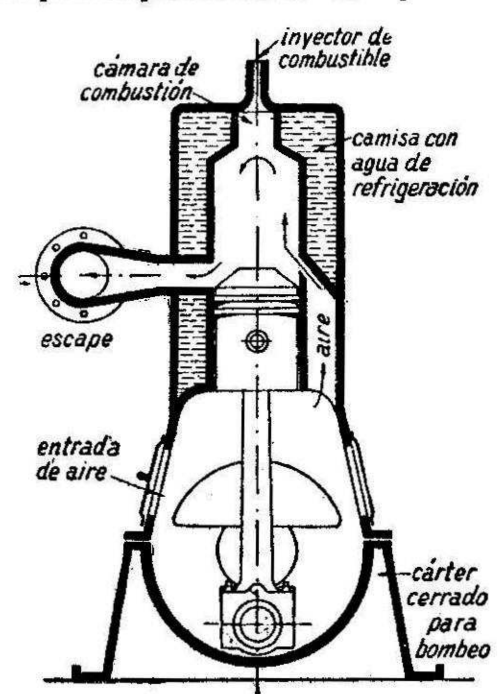


Fig. 124. — Corte de un motor Diesel de dos tiempos.

ducto lateral hacia la lumbrera de admisión, aire que llena el cilindro y barre los gases de escape. Siguiendo en su carrera, el pistón cubre las lumbreras y por lo tanto comprime al aire contenido en el cilindro, hasta que al llegar a su punto muerto superior se abre el inyector

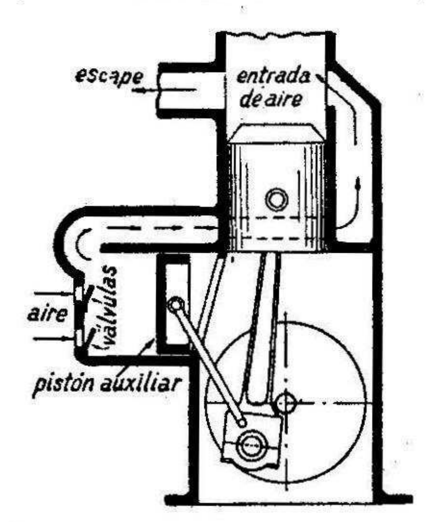


Fig. 125. — Bomba de aire en el cárter.

por una leva y entra combustible a la cámara de combustión. Se produce aquí la combustión y comienza la expansión, bajando el pistón hasta su punto muerto inferior, pero abriéndose en un instante dado la lumbrera de escape y comenzando a salir por ella los gases quemados.

No siempre se utiliza el mismo cárter y el pistón principal para que sirvan de bomba de aire, porque ello obliga a hacer el cárter cerrado y con tabiques que independicen los cilindros, a fin de que sólo trabaje como bomba en un cilindro, puesto que sabemos que los cilindros no marchan apareados. Para evitar esos inconvenientes se emplea la bomba auxiliar de barrido, ilustrada en la figura 125. Esta bomba tiene un émbolo, accionado con un vástago articulado a la biela. Cuando el pistón principal baja, el auxiliar camina hacia la derecha, abriéndose las válvulas de la bomba. Cuando el pistón principal comienza su carrera ascendente, el auxiliar es empujado hacia la izquierda, y el aire va a la lumbrera de aspiración por el conducto que se ve en la figura, entra al cilindro y barre los gases quemados. Hay que hacer notar que la carrera del pistón auxiliar de la bomba es reducida, de manera que para que en cada embolada suministre la cantidad necesaria de aire para llenar el cilindro principal del motor, debe tener mayor diámetro que el pistón principal.

Tampoco es éste el único sistema empleado, pues algunos motores emplean un soplador en

lugar de la bomba de barrido. Este soplador se ilustra esquemáticamente en la figura 126, y consta, en esencia, de una bomba Root de engranajes ovales estrangulados, que producen succión y compresión al mismo tiempo, aspirando e impulsando al aire por dos conductos. El caudal de aire es continuo, de modo que la entrada al cilindro está gobernada por el hecho de que la lumbrera esté abierta o no. Algunos tienen válvulas, además de lumbreras; veamos un ejemplo.

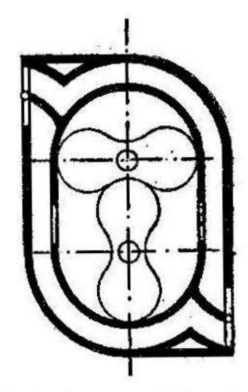


FIG. 126. — Soplador para el llenado del cilindro.

Los motores que emplean soplador se diferencian netamente de los otros motores de dos tiempos, por lo que vale la pena hacer una descripción adicional, con ayuda de la figura 127. Por lo pronto, estos motores usan el sistema de desplazar el aire fresco y los gases de escape en el mismo sentido, hecho que les da el nombre de monoflujo. El aire que aspira el soplador penetra en el cilindro por las lumbreras inferiores que el pistón ha dejado al descubierto, como se ve en el esquema *A* de la figura 127, y se nota que su corriente es ascendente, para barrer los gases de escape por la válvula correspondiente, que está abierta. En el diagrama *B* el aire ha llenado totalmente al cilindro, la válvula de admisión y la de escape están cerradas y se puede inyectar el combustible, cosa que se ve en el diagrama *C*.

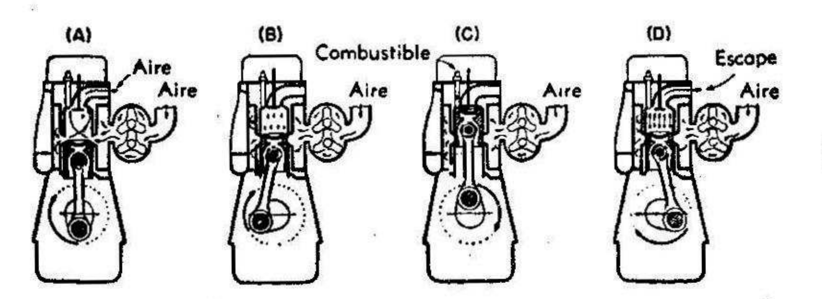


FIG. 127. — Funcionamiento del motor de dos tiempos tipo mono-flujo.

En tal momento se produce la combustión de la mezcla, la que se cumple en forma espontánea en virtud de la alta presión reinante, como ocurre en los motores Diesel de cualquier tipo. Es la carrera motriz o de expansión, que se muestra en *D* de la figura citada. Después de ella, se abre la válvula de escape y comienza la ascensión del pistón, que expulsa los gases quemados, operación que se completa al descubrirse la lumbrera respectiva y entrar aire fresco mediante el soplador.

Ciclo de trabajo

Veamos ahora el ciclo del motor de dos tiempos, cuya construcción difiere del anterior, en algunos tipos, por la carencia de válvulas de admisión y escape, las que son substituídas por lumbreras, cubiertas y descubiertas por el mismo pistón en su desplazamiento. La figura 128 muestra el diagrama de presiones de un motor con ciclo de dos tiempos. El punto 1 marca el comienzo del ciclo, cuando el pistón comienza su carrera de compresión, en la cual, el primer tramo marca la entrada de aire al cilindro, tra-

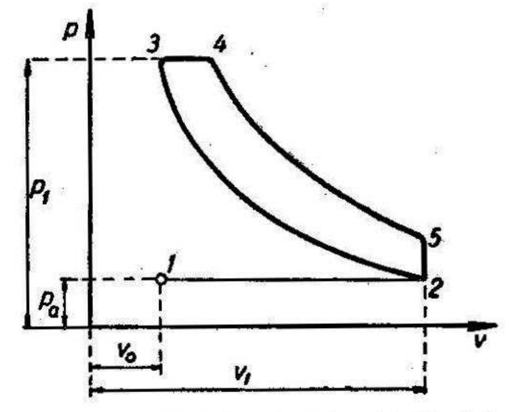


FIG. 128. — Ciclo de trabajo del motor Diesel de 2 tiempos.

mo 1-2. En 2 se cierra la lumbrera de admisión, por llegar el pistón a cubrirla, y comienza la compresión adiabática del aire contenido en el cilindro y en la cámara de combustión. En el punto 3 termina la compresión, que ha llegado a provocar la presión p_1, mucho mayor que la de escape p_a. El aire que ocupaba un volumen v_1 ha pasado a tener otro v_0. Aquí es el punto donde se debe inyectar el combustible mediante la bomba auxiliar. Inmediatamente comienza la combustión espontánea por la elevación de temperatura, lo que está representado por la recta de presión constante 3-4 y comienza el segundo tiempo, con la expansión adiabática 4-5. Al llegar al punto 5 el pistón descubre la lumbrera de escape y baja la presión y salen los gases quemados. Ya sabemos que en los motores de dos tiempos, estos gases deben ser barridos por la admisión, de manera que al entrar aire fresco se limpia el cilindro de los gases quemados que quedan en su interior. El punto 1 marca el fin del segundo tiempo. Los motores de dos tiempos con válvulas (monoflujo) tienen ciclo igual al descripto.

Cámaras de combustión

Todo el espacio que queda lleno de aire cuando termina la combustión, se llama cámara de combustión. Si el cilindro es sencillamente cilíndrico, de base superior perpendicular a la generatriz, y plana, la cámara de combustión la debe formar el mismo pistón, para lo cual debe ser ahuecado. En caso contrario, cuando el pistón es un cilindro recto de base superior plana, debe haber un recinto en el cual se aloje el aire una vez comprimido.

La forma de las cámaras de combustión es muy variada, a veces sólo obedecen a razones de patentes, sin que haya verdadera diferencia en el funcionamiento o en la eficiencia. De todos modos, es de notar que la tendencia moderna es proveer al motor de una *antecámara,* donde se realiza la primera combustión. Tenemos así una primera clasificación, según tenga o no esa antecámara, y los motores se llaman: de *inyección directa,* si la cámara está formada por el pistón y el cilindro, simplemente, y los otros, que se llaman con *antecámara,* o con *cámara de pre-combustión.*

La figura 129 muestra dos tipos de los más usuales de cámaras de inyección directa. La *A,* corresponde a los motores M.A.N. La *B* es característica de los motores de inyección directa, con pistón ahuecado en forma semiesférica en su parte superior, y entre los cuales tenemos los Sulzer, Otto, Tosi y otros; se caracterizan por su simplicidad constructiva. Tienen el inconveniente de que el aire, durante la compresión es simplemente *empujado* hacia la cámara, su-

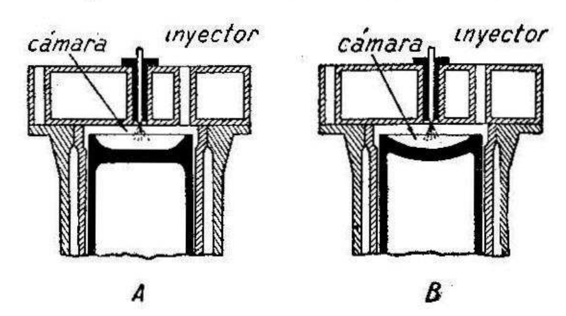


FIG. 129. — Corte de dos tipos de cámaras de combustión directa.

fre una compresión inmovilizada, es decir, no adquiere turbulencia y queda en reposo al final de la compresión. Este detalle conspira contra la mezcla del combustible con el aire, pues las condiciones ideales se cumplen cuando el aire está animado de movimiento. Por estas razones en los motores sin antecámara, hay que pulverizar muy bien al combustible para obtener una combustión buena. Generalmente, estos motores son los que emplean presiones de inyección más grandes por ese motivo, presiones que llegan a algunos cientos de atmósferas.

Analicemos ahora los motores de inyección indirecta, cuyas cámaras guardan las formas

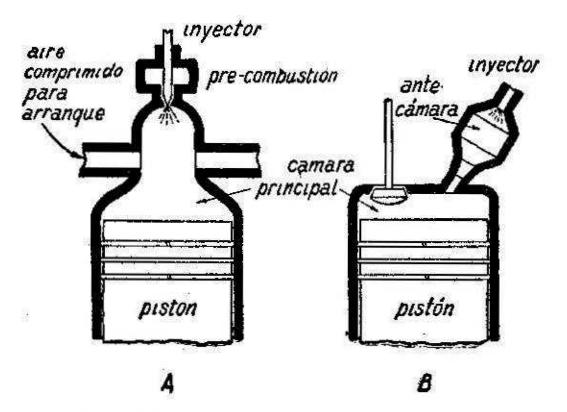


FIG. 130. — Cámaras de pre-combustión.

que se ven en las figuras 130 y 131. Se distinguen dos tipos distintos, los llamados de cámara de *pre-combustión* propiamente dicha (Fig. 130), y los modelos que agregan una cámara de turbulencia de aire (Fig. 131). En los primeros, el combustible comienza su inflamación en la an-

tecámara, donde se realiza una combustión parcial, la temperatura y la presión se elevan y los gases pasan de inmediato a la cámara principal, donde termina el fenómeno. La ventaja obte-

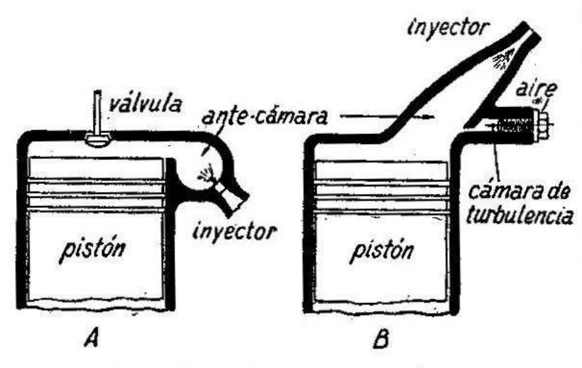


FIG. 131. — Cámaras de turbulencia.

nida es que al comenzar la combustión los gases pasan violentamente de la antecámara a la cámara principal, produciendo una succión en el inyector que arrastra más combustible, favoreciendo la operación de gasificación del líquido. Por tal motivo, la presión del inyector puede ser mucho menor que en los motores anteriores, de inyección directa. Se emplean presiones inferiores al centenar de atmósferas. La ilustración *A* corresponde a los Deutz y la *B* a los Caterpillar (Fig. 130).

Los motores del tercer tipo, que hemos llamado a *cámara de turbulencia,* y que corresponden a las ilustraciones de la figura 131, utilizan el efecto de movimiento brusco turbillonario que se produce en una masa de aire, para mejorar las condiciones de la pulverización del combustible, y para provocar la succión en el inyector. Hay algunos motores (el Atlas, por ejemplo) que tienen la cámara de turbulencia

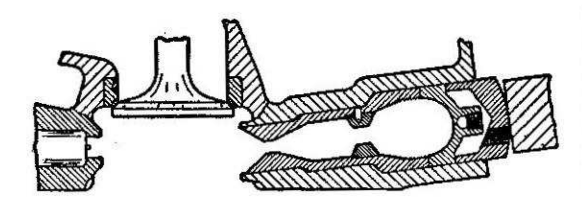


FIG. 132. — Cámara de pre-combustión con garganta del motor *Mack.*

con un fino orificio, para que el aire al pasar se caliente, y con ello se mejoren las condiciones de la combustión. El modelo A es característico de los motores tipo Hércules para vehículos, y el *B* es un M. A. N. Entre estos motores que usan pre-cámara de turbulencia merece destacarse uno por la originalidad de la misma, y es el motor Mack, cuya cámara puede verse en la figura 132. Está provista de una celda especial, con una garganta de estrechamiento tipo Venturi, que produce una turbulencia muy eficaz en el movimiento del aire.

Otro caso para analizar es el de las cámaras que emplean dos inyectores en lugar de uno, colocados en forma opuesta en la cámara de combustión. La figura 133 ilustra sobre el sistema empleado en el motor Price, que tiene una cámara de forma de tronco de cono invertido, en cuya base superior, y en posición opuesta diametralmente, se ven los dos inyectores. Es evidente, que este detalle encarece el motor, de modo que su funcionamiento debe acusar ventajas que justifiquen tal inclusión.

Sistemas de arranque

Las puestas en marcha de los motores Diesel se hacen en formas muy variadas, según la potencia del motor, si es fijo o móvil, etc. En los

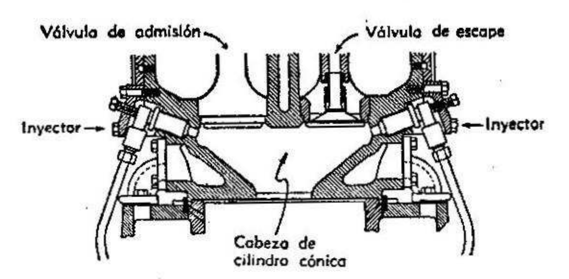


FIG. 133. — Cámara en forma de cono truncado con dos inyectores del motor *Price.*

grandes se emplea aire comprimido, contenido en recipientes especiales (botellas) o producido por el motor mismo mediante un mecanismo adicional. En los más chicos se lo hace girar a mano, mediante un volante con manija. En los portátiles se emplea una bujía de encendido, para hacerlo arrancar como si fuera a explosión; una vez en marcha normal, se elimina el sistema de ignición, y pasa a funcionar como Diesel.

En resumen, tenemos dos métodos importantes: el de aire comprimido y el eléctrico. Veamos algunos detalles de los mismos.

Hemos mencionado que se usaba aire comprimido para hacer arrancar al motor Diesel. Pero este sistema es práctico para motores estacionarios o marinos de gran potencia. Para vehículos se prefiere el arranque eléctrico, mediante un motor que hace girar el cigüeñal has-

ta que se establece el funcionamiento normal. En este sentido, el arranque eléctrico es completamente similar al usado para motores a explosión.

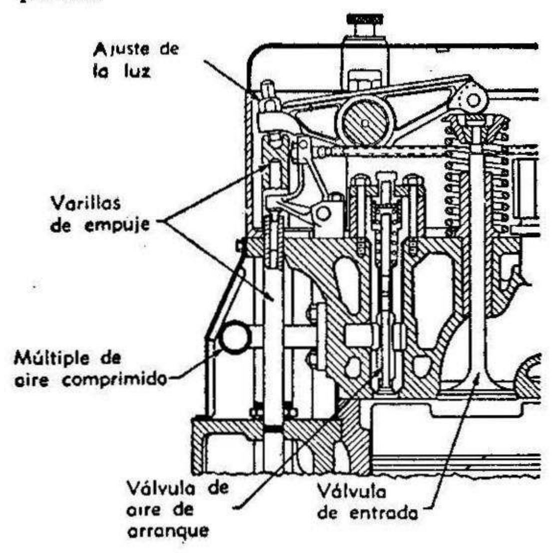


FIG. 134. — Sistema de arranque con aire comprimido de la *Worthington.*

En el arranque por aire comprimido se emplea una válvula especial, que se puede ver en la figura 134, y que está montada en la culata del cilindro. Muchas veces esta válvula se abre por acción del mismo aire comprimido, y otras se usan válvulas especiales para tal fin. El aire para el arranque debe entrar al cilindro cuando el pistón ha pasado un pequeño ángulo, comprendido entre 1° y 5°, del punto muerto superior. El aire comprimido se guarda en botellas especiales, que se colocan próximas al motor y unidas a éste por un tubo. La botella contiene generalmente anhidrido carbónico a una presión de 60 atmósferas, en estado líquido. Al abrir la válvula el líquido se expande bruscamente y se gasifica, cumpliendo su cometido.

La maniobra de arranque se realiza de la siguiente manera: Se coloca el pistón pasando el punto muerto superior, para lo cual se acciona el volante. Es corriente que el volante tenga una marca que debe hacerse coincidir con otra de la bancada fija, para la posición de arranque. Se elige un cilindro extremo, al cual se conecta la botella de aire comprimido. Preferiblemente se elegirá el más próximo al volante. Es obvio que durante la puesta en marcha el motor debe estar desacoplado de la carga. El aire comprimido acciona sobre el pistón y lo desplaza, iniciándose el ciclo. Después de algunas emboladas, comienza el funcionamiento normal. Es importante tener en cuenta que debe usarse aire comprimido, y no oxígeno, cuidando de no confundir los recipientes, que son parecidos. El empleo de oxígeno daría lugar a desagradables consecuencias, pues se combina con el combustible formando una mezcla explosiva. Durante el arranque se cierra la válvula de admisión y se abre la auxiliar.

Para el arranque eléctrico se emplea un motor que está acoplado al cigüeñal mediante un dispositivo que se ilustra en la figura 135, llamado *bendix.* Se trata de un acople y desacople por vía de una muesca practicada en una corona cilíndrica contenida por un resorte. Poniendo en marcha el motor de arranque mediante una batería de acumuladores, cuando el cigüeñal adquiere movimiento rotatorio el bendix se encarga de desacoplar al motor.

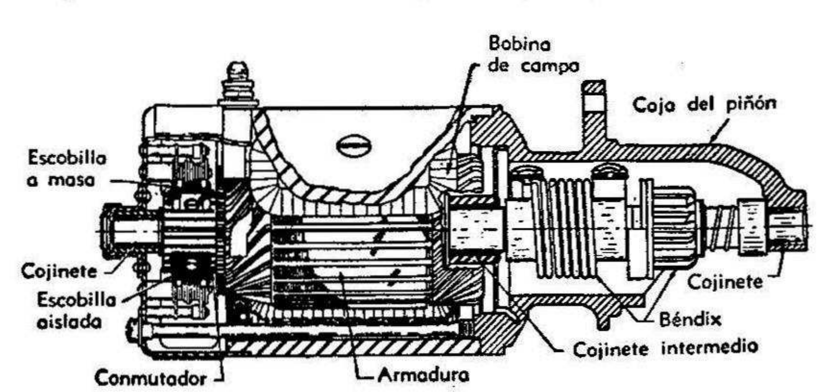


FIG. 135. — Dispositivo para arranque eléctrico de motores Diesel.

En algunos motores Diesel para vehículos se usa un elemento térmico colocado en el interior de la cámara de combustión. Se trata de una pequeña resistencia que al paso de la corriente se pone al rojo, y mientras el motor de arranque hace girar al cigüeñal, la mezcla com-

primida entra en combustión gracias al elemento incandescente. Cuando se ha conseguido el arranque se desconecta dicho elemento. Caso típico de lo que estamos describiendo son los motores para vehículos de la Mercedes-Benz. El elemento de calefacción se conecta antes de accionar el botón de arranque durante unos 30 segundos, y luego se pone en marcha el motor de arranque con lo que se consigue un rápido funcionamiento normal del motor.

En otros motores se coloca una bujía de ignición como las usadas en motores a explosión, pero en un solo cilindro. Cuando el motor está frío no arranca por sí solo, pero la chispa produce la combustión inicial. Una vez en marcha normal se desconecta esa bujía.

Detalles de funcionamiento

El combustible empleado para motores Diesel puede ser gas-oil, fuel-oil y diesel-oil. El gasoil tiene una densidad de 0,825 a 0,875 especificándose un contenido de azufre inferior al 0,2 % y poder calorífico de unas 11.000 Calorías. El diesel-oil tiene sólo 10.750 Calorías. El fuel-oil se emplea raramente, por su menor pureza. Se lo destina a las calderas para quemado a llama continua.

El consumo de combustible es de alrededor de 180 a 190 gramos por C. V. hora para los tipos corrientes. Para potencias pequeñas se los construye horizontales y raramente verticales, en cambio, para más de 100 C. V. son verticales. La tabla da algunas características de estos motores.

Características de motores Diesel de cuatro tiempos

Potencia C. V.	*Cilindros Nº*	*Diámetro cilindro mm*	*Carrera mm*	*Velocidad r.p.m.*	*Observaciones*
20	1	230	360	270	horizontal
30	1	260	450	250	"
50	1	330	600	220	"
75	1	370	660	200	"
75	2	260	420	250	"
100	1	450	720	190	"
100	2	310	500	300	vertical
200	2	440	720	190	"
200	4	280	450	300	"
300	4	390	560	190	"
500	4	460	700	190	"

MOTORES SEMI-DIESEL

La comparación entre un motor a explosión o de gas con uno Diesel hace pensar en un tipo intermedio, en el cual no se emplee sistema de ignición para la inflamación de la mezcla, pero tampoco se utilice la presión tan elevada del Diesel. Si la presión al final de la compresión es moderada, cualquier elevación de temperatura es capaz de producir la combustión espontánea de la mezcla, y eso es lo que se hace en los motores semi-Diesel.

La manera más simple de producir la elevación de temperatura es dejando la cabeza del cilindro sin refrigeración, por lo cual estos motores han tomado el nombre de *cabeza caliente*. Se los construye de cabeza de cilindro semi-esférica, sin camisa, y cuando la mezcla combustible, que es generalmente aire con agricol, kerosene, gas-oil, etc., está comprimida, el contacto con la cabeza caliente del cilindro la inflama. Es evidente que para el arranque hay que calentar la cabeza mediante una fuente auxiliar, generalmente una mecha con kerosene.

El motor semi-Diesel tiene una antecámara de combustión con una espiral de cobre que se pone incandescente por las elevadas temperaturas reinantes. Una vez al rojo, esa espiral sirve de inflamador, pero para el arranque hay que calentarla con una mecha auxiliar.

Gran parte de los motores semi-Diesel son de dos tiempos, por simplicidad constructiva, ya que son de bajo rendimiento y alto consumo comparados con los Diesel. Por la misma razón se suprimen las bombas e inyectores y se hace aspirar al combustible conjuntamente con el aire. Para ello se pone la antecámara, que está a temperatura elevada y vaporiza al líquido. Pero no hay combustión por falta de aire, por lo cual recién se produce la inflamación cuando pasa a la cámara principal.

A título ilustrativo diremos que el consumo de combustible varía entre 260 y 300 gramos C. V. hora, cifra bastante mayor que en los Diesel.

Los motores semi-Diesel que emplean bomba de combustible e inyectores sólo se diferencian de los Diesel en la presión y en el detalle de la antecámara caliente, pero no hay una línea neta de separación entre uno y otro tipo, pues hay motores Diesel con antecámara de vaporización, donde se calienta el aire para mejorar la gasificación. En muchas ocasiones un mismo motor puede trabajar en las dos formas, según el combustible empleado y la regulación de presión.

Día 11

Así como en los motores a exposión el elemento de mayor importancia era el carburador, pues le entrega al cilindro el dosaje conveniente de aire con nafta julverizada, así en los motores Diesel tenemos un elemento que cobra tanta o más importancia, pues es el alma misma del motor. Se trata de la bomba de combustible o bomba diesel. En el estudio realizado el día anterior nos hemos ocupado del funcionamiento de los motores Diesel, tanto los de dos como los de cuatro tiempos. En todos los tipos encontramos que la bomba es la encargada de inyectar en cada cilindro, y en el momento oportuno, la cantidad de combustible gasificado para que se mezcle con el aire ya comprimido y se produzca la combustión. No es necesario insistir mucho para comprender que debe ir a cada cilindro la misma cantidad de combustible, y en el momento oportuno, y que si queremos regular la marcha del motor debe actuarse sobre la bomba. Es así cómo surge la importancia de tal bomba y el cuidado que debe prestársele para que funcione correctamente.

Por los motivos apuntados dedicaremos esta jornada al estudio de la bomba diesel, en sus modelos más típicos, ya que es prácticamente imposible describir todos los existentes y los que siguen apareciendo en el mercado.

LA BOMBA DIESEL

Tipos de bombas

La bomba de alimentación de combustible en los motores Diesel, es un elemento del cual depende toda la eficacia del funcionamiento. Su misión es múltiple, pues debe comprimir el combustible, debe poderse regular la cantidad del mismo para variar la velocidad y la potencia del motor, debe enviar combustible a presión al inyector en el momento que terminó el período de compresión, y debe servir para la puesta en marcha y la detención.

Tal complejidad de funciones habla bien a las claras de la preocupación de los fabricantes de motores para diseñar bombas cada vez mejores, o emplear modelos ya patentados.

Podemos clasificar a las bombas de combustible en dos tipos distintos, y que llamaremos: de presión constante e inyectores comandados y de presión variable e inyección automática.

El sistema de presión constante, consiste en emplear una bomba única, que mantiene en las tuberías de combustible una presión invariable. La entrada del combustible al cilindro se hace gobernando al inyector mediante un árbol de levas. Cuando llega el momento de realizar la inyección, la leva empuja la aguja del inyector, y el combustible que está sometido a una presión mayor que la que reina en el cilindro entra en la cámara de combustión en forma de fina lluvia.

El sistema de presión variable emplea una bomba para cada cilindro, y hace actuar la presión del combustible sobre la aguja del inyector, levantándola y permitiendo el acceso del líquido al cilindro. El árbol de levas de inyectores queda suprimido, ya que los mismos están comandados por la bomba misma mediante la presión que los empuja hacia arriba y un resorte que los mantiene hacia abajo.

Los dos sistemas se emplean, y no puede decirse que uno u otro tengan mayores complicaciones constructivas, pues si bien es cierto que el primero requiere una bomba única, el árbol de levas complica mecánicamente el sistema de alimentación. Además, la regulación se hace más cómodamente en el segundo sistema, como veremos. Comencemos por describir algunos tipos de bombas del segundo sistema, cómo ser la Ruston y la Bosch.

Bomba Ruston

La figura 136 muestra un corte esquemático de este tipo de bomba individual, debiendo haber una para cada cilindro, aunque el conjunto de las mismas forme un solo block. Una leva comanda el pistón principal de la bomba que

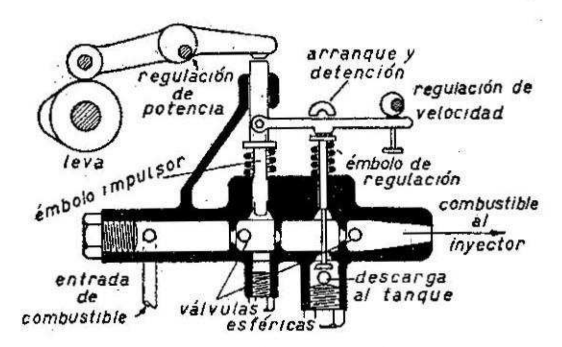


FIG. 136. — Bomba *Ruston* para motores Diesel.

realiza la presión necesaria para comprimir el combustible. En la figura lo hemos llamado émbolo impulsor. Mediante una excéntrica se gobierna la carrera de este pistón y se consigue regular la potencia del motor por presión variable del combustible. En su carrera ascendente, este émbolo succiona, y se abre la válvula esférica de la izquierda, entrando combustible al cuerpo de bomba. En la carrera descendente, se comprime el líquido, se abre la válvula esférica derecha, y el combustible pasa al conducto del inyector.

Pero el émbolo principal tiene articulada una palanca, gobernada por una excéntrica controlada por el regulador de velocidad del motor. Esta palanca mueve más o menos un émbolo auxiliar de regulación que abre o cierra la válvula de descarga que se ve en la figura en la parte inferior, y que envía de vuelta al tanque parte del combustible. Según sea la cantidad de combustible que pasa al inyector, se tendrá mayor o menor velocidad del motor. Además, en la palanca tenemos una leva para arranque o detención del motor. Cuando está hacia arriba, la válvula de descarga queda abierta y todo el combustible regresa al tanque, deteniéndose el motor.

Se ve que se dispone de una doble regulación, de potencia y de velocidad. La regulación de potencia mediante variación de la presión de inyección, modificando la carrera del pistón principal o impulsor de la bomba. La regulación de velocidad, mediante variación de la apertura de una válvula de descarga, que hace que parte del combustible impulsado vuelva al tanque, de modo que se trata de una regulación por cantidad. Todo este equipo es para un cilindro, habiendo tantos juegos como cilindros tenga el motor.

Bomba Bosch

Pertenece también al tipo de comando individual de los inyectores por presión del combustible. Consta entonces de un émbolo por cada cilindro, accionados por un árbol de levas, igualmente que en la Ruston, pero se diferencia de esta última en el sistema de regulación. La figura 137 muestra esquemáticamente una bomba Bosch para un cilindro. Se ve el émbolo principal, con el resorte de contención y la leva encargada de accionar al émbolo. Se ve que el émbolo tiene un piñón dentado que puede ser girado con una cremallera accionada por una excéntrica. Una palanca de mano mueve esta excéntrica y consecuentemente a la cremallera.

Veamos cómo se consigue la regulación por medio de giros del émbolo de la bomba: la figura 138 muestra un detalle interno de dicho émbolo, indicándose además la entrada de combustible proveniente del tanque, el orificio de rebalse, por el que parte del combustible retorna al tanque, y el conducto superior que es el de inyección, por lo que irá directamente al in-

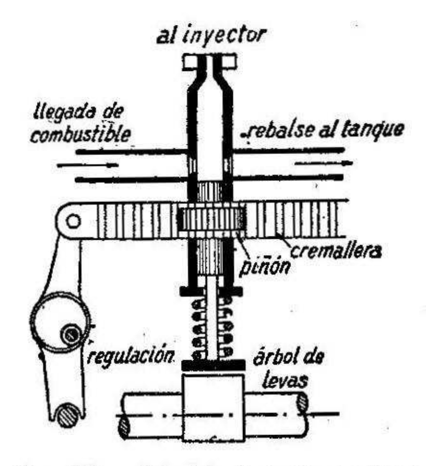


FIG. 137. — Principio de la Bomba *Bosch*.

yector de un cilindro. El émbolo tiene un saliente helicoidal y una ranura longitudinal, y en la figura se han dibujado tres posiciones distintas para dicho émbolo, provocadas por el movimiento de la cremallera que hace girar al piñón dentado. Para la primera posición, la ranura deja pasar combustible a la parte fileteada,

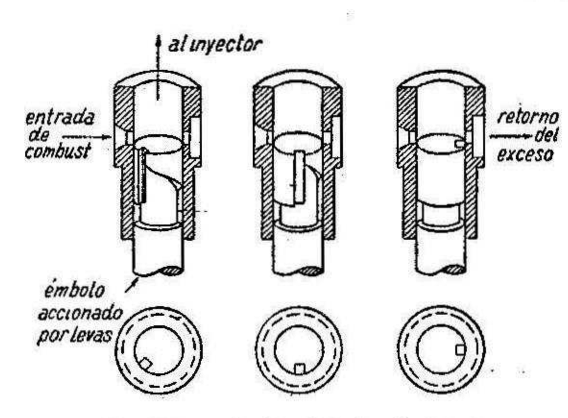


FIG. 138. — Acción de la bomba *Bosch*.

pero en su carrera no se llega a poner en descubierto el orificio de salida, de manera que no vuelve combustible al tanque. Es la posición de plena carga. La segunda posición muestra el émbolo un poco más girado, lo que permitirá que el orificio de salida quede descubierto en parte de la carrera, y algo de combustible volverá al tanque. Para cada ángulo hay una cantidad distinta de combustible que vuelve, y se tendrá una situación de trabajo que corresponda a la carga. La posición tercera, es cuando la ranura está frente al orificio de salida, y todo el combustible vuelve al tanque. Es la posición de detención, y el motor se para.

Bombas de presión constante

Sabemos que éstas son las que tienen un solo cuerpo de bomba, pues la entrada de combustible a cada cilindro está gobernada por un árbol de levas, que levanta o baja los inyectores. Una bomba única mantiene una determinada presión en las tuberías, la cual puede ser menor que en las bombas de presión variable antes descriptas, ya que no es necesario actuar sobre los inyectores.

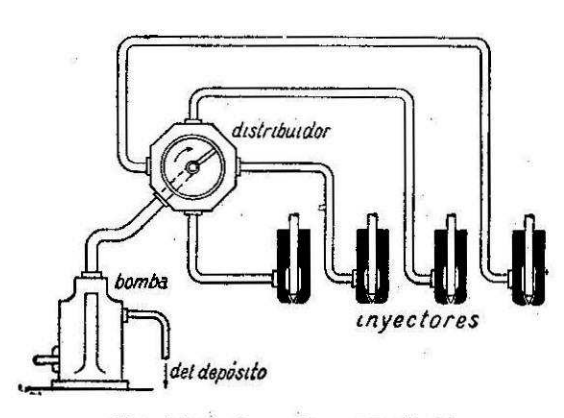


FIG. 139. — Inyección a distribuidor.

Hay varios modelos de bombas de este tipo, pero la que se destaca notablemente es la de Cummins, por emplear un novedoso sistema de inyección, representado esquemáticamente en la figura 139. En lugar de emplear una tubería única, hay un distribuidor rotativo, con tantas tuberías de salida como cilindros tenga el motor. La presión de la bomba es constante, y el rotor del distribuidor es gobernado por el eje motor, de modo que en el momento oportuno se envía combustible al cilindro que lo necesita. El árbol de levas se encarga de levantar las agujas de los inyectores y el combustible penetra en la cámara de combustión.

La figura 140 permite apreciar detalles del distribuidor a disco de la bomba Cummins. Veamos allí el disco con perforaciones y ranuras comunicadas por enfrentamiento, de manera que cuando el eje del distribuidor, que gira acompañando al eje motor, lleva al disco a posiciones que hacen coincidir las perforaciones se abre el paso para el combustible, el cual va al inyector del cilindro que en ese momento corresponde recibirlo. Obsérvese la acción del regulador, el cual actúa por medio de una charnela.

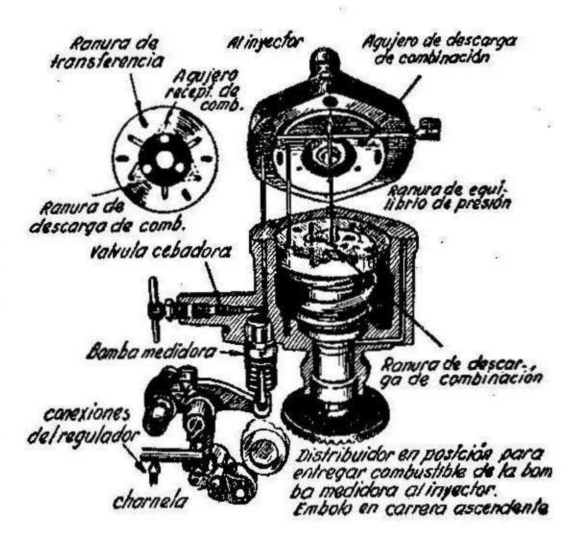


FIG. 140. — Distribuidor a disco de la bomba *Cummins*.

Inyectores

Un inyector está formado por la aguja o émbolo (Fig. 141), el resorte de contención, el tope d- asiento de la leva y el orificio de ato-

mización de combustible. Es evidente que los inyectores de actuación automática por presión de la bomba, no tendrán el tope para la leva. El conducto de llegada de combustible sólo se

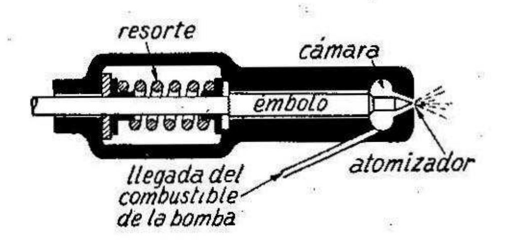


FIG. 141. — Corte de un inyector.

pone en comunicación con el orificio de salida cuando la guja del inyector está levantada, sea por acción de la presión de la bomba, o por la leva correspondiente.

El modelo de la figura 141 es del tipo de actuación automática, pues cuando la bomba actúa sobre el combustible, éste, a su vez, sirve de transmisor de la presión de aquéllas a la aguja del inyector, venciendo la resistencia del namiento al tacto, notándose la pulsación característica que indica marcha normal.

La boquilla del inyector se denomina pulverizador, y puede tener diversas formas, ya sea la de la figura 141, la de la 142, u otras. Esas dos figuras distinguen los dos tipos distintos de pulverizadores, a saber: de perno y de orificio. Los primeros se llaman así porque la aguja descubre el agujero de inyección, y los segundos tienen

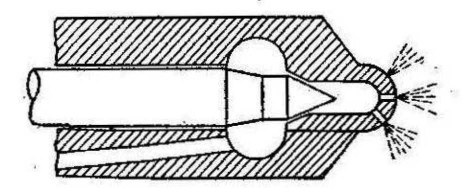


FIG. 142. — Otra forma de boquilla de inyector.

uno o varios orificios de salida de combustible que no están cubiertos en ningún momento por la espiga o aguja.

Es de resaltar la delicadeza de los inyectores y pulverizadores, y los efectos que producen en

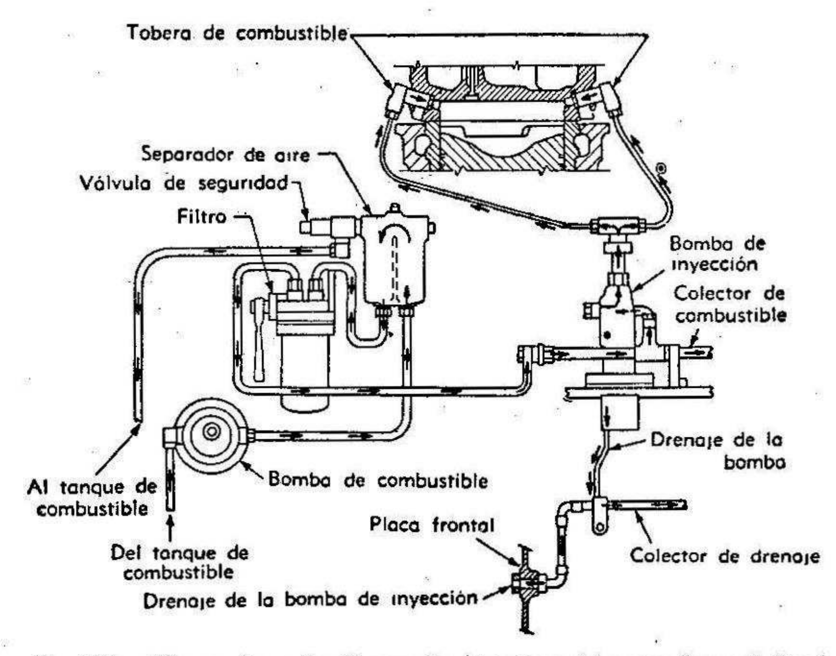


FIG. 143. — Cámara de combustión con dos inyectores del motor *Ingersoll Rand.*

resorte de contención, y levantando a la aguja. Generalmente el combustible llega a una pequeña cámara de acumulación que se ve en la figura, donde espera la oportunidad de entrar al cilindro. En la parte extrema del émbolo hay un botón, que permite verificar el funcio- el motor su funcionamiento defectuoso. Son la parte más delicada y que requiere más prolijas revisiones.

En la figura 143 se muestra un caso de cámara de combustión con dos inyectores por cilindro. Se trata de un motor tipo Ingersoll Rand,

que utiliza una bomba del tipo Bosch, y que aparece en la ilustración. Como se ve, la gran variedad de modelos utilizados en la práctica hace imposible la descripción completa.

Mantención de la bomba diesel

Siendo la bomba de combustible el elemento más delicado e importante del motor Diesel, es lógico que su mantención requiera el máximo cuidado. Es de la mayor trascendencia destacar que uno de los factores que inciden con mayor frecuencia en el mal funcionamiento de la bomba es el combustible sucio, sin dejar de lado que el propio desgaste de las partes de dicha bomba también se traducen en funcionamiento deficiente del motor.

Un motor que acusa pérdida de potencia y dificultades en el arranque indica, en la mayoría de los casos, un funcionamiento defectuoso de la bomba de combustible. Si esos dos síntomas se acompañan con una pérdida del índice de compresión y aparición de humo en los gases de escape, entonces la deficiencia está en el motor mismo, pero en caso contrario debe acusarse a la bomba del mal funcionamiento.

Entre los síntomas que avisan un mal estado de la bomba de combustible pueden citarse: la baja temperatura de los gases de escape, reducción de la potencia útil del motor, reducción de la presión en la combustión, fallas en la misma, funcionamiento desequilibrado de los cilindros, etc. Por ejemplo, un cilindro que acusa baja temperatura en los gases de escape revela que no tiene combustión completa; para localizarlo se pueden ir cerrando los tubos de inyección de cada cilindro hasta encontrar al que no perturba el ya defectuoso funcionamiento del motor. Localizado, se puede revisar el inyector, o, si se tiene una bomba de distribución individual, la sección que corresponde al cilindro que funciona en forma defectuosa.

La bomba de combustible es un elemento sumamente delicado, y las superficies metálicas expuestas no deben ser tocadas con las manos sin tomar la precaución de mojarlas antes con lubricante o combustible, pues en caso contrario podría provocarse oxidación por efecto de la traspiración. Al desarmar la bomba deben irse colocando todas sus piezas dentro de un recipiente que contenga combustible, y luego limpiarlas con un cepillo de cerda, no metálico. Luego se revisará el cilindro y el émbolo de la bomba buscando rayaduras que sean perceptibles al tacto, en cuyo caso hay que proceder al recambio del émbolo o a la rectificación del cilindro, según el caso. Si en lugar de rayaduras se observan picaduras, el mismo procedimiento, pero si sólo aparecen manchas, casi siempre producidas por contenido de agua o ácido en el combustible, las mismas pueden ser quitadas con esmeril fino bien mojado en aceite.

Hay ocasiones en que el desarme de la bomba se ve dificultado por estar los émbolos adheridos a los cilindros. Ello se debe a depósitos de tipo gomoso que pueda tener el combustible, y en tal caso debe ablandarse previamente la bomba antes del desarme. El procedimiento es dejarla sumergida unas horas en un recipiente con tetracloruro de carbono y después imprimir a los embolos movimientos suaves de rotación y de vaivén hasta lograr el desarme. Es lógico que después de ello debe procederse a una cuidadosa limpieza de émbolos y cilindros para eliminar todo residuo remanente.

Hay un detalle que es de importancia para el novicio en el mantenimiento de las bombas diesel, y es que el ajuste de émbolo y cilindro es tan exacto que si estando desarmada la bomba se tienen el cilindro y el émbolo en lugares a diferente temperatura, como podría ser el sol y la sombra, no se puede armar el conjunto sin sumergirlo un tiempo en combustible para nivelar sus temperaturas, salvo que por casualidad hubiera obrado dilatación sobre el cilindro y contracción sobre el émbolo. Es una buena precaución la inmersión en combustible antes del armado.

Un detalle de suma importancia en el mantenimiento de la bomba diesel es la verificación periódica de la regularidad o equilibrio de la inyección en todos los cilindros del motor, es decir que cada cilindro debe recibir en el momento oportuno la misma cantidad de combustible. Comprobado que los inyectores se encuentran en buen estado por haberlos limpiado y calibrado, debe verificarse si la bomba envía cantidades iguales a cada inyector.

Para esa comprobación hay aparatos de prueba en los talleres bien equipados, pero el operador puede improvisar un banco de verificación de la bomba en la forma ilustrada en la figura 144. Se trata de colocar cubetas graduadas debajo de cada inyector, que al efecto deben colocarse en posición vertical y unidos por conductos de igual diámetro y largo a los orificios de salida de la bomba. Accionando éste a mano se verifica la cantidad de combustible que hay en las cubetas para cada embolada completa. Cualquier diferencia es acusadora de que hay una sección de la bomba defectuosa. La operación se hace guardando ciertas normas:

primero debe hacerse funcionar la bomba a unas 100 r.p.m. sin colocar las cubetas, para tener seguridad de que no queda aire en las tuberías. Luego se limpian exteriormente los inyectores y se acciona la bomba a la velocidad estipulada anteriormente unos dos a tres minutos, y luego

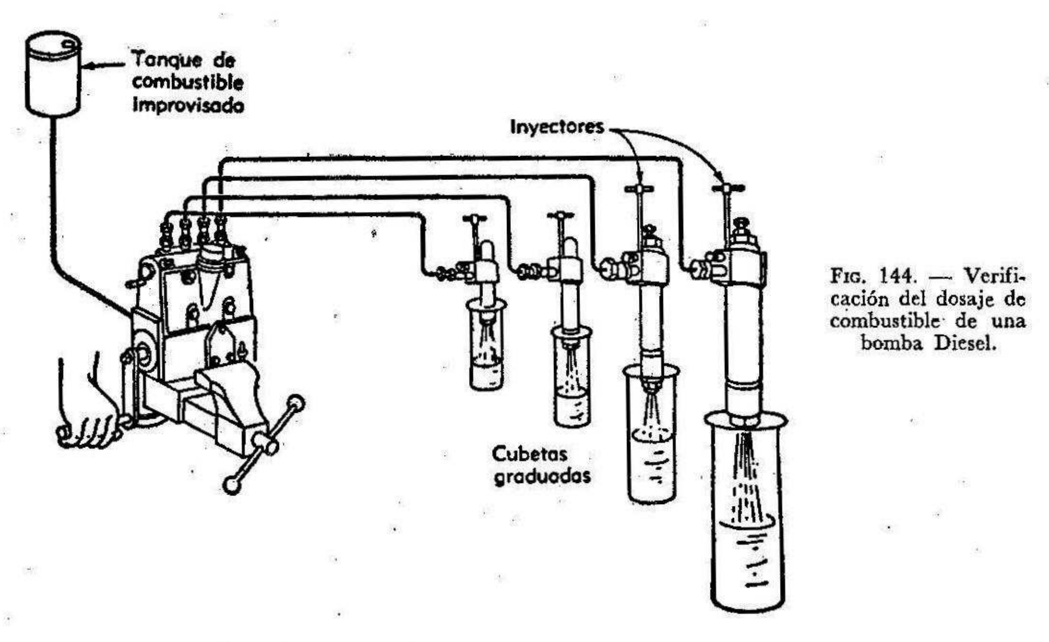


Fig. 144. — Verificación del dosaje de combustible de una bomba Diesel.

se comparan los depósitos líquidos en las cubetas. Se da por buena una bomba que no acuse diferencias mayores de un 5 % en los niveles líquidos. El exceso de diferencia obliga a revisar cuidadosamente la bomba y los inyectores, pero si hay ese exceso hay que repetir la prueba para evitar errores que pudiera haber provocado la existencia de una burbuja de aire rebelde u otra causa accidental. En la repetición debe obtenerse diferencia en el mismo cilindro, si no hay que revisar los tubos y las uniones de los mismos en el banco de prueba improvisado.

Bomba de circulación

Muchos motores Diesel emplean, además de la bomba de combustible de la que nos hemos ocupado hasta aquí, una bomba de circulación, impulsión o transferencia, cuya misión es sacar el combustible del tanque y enviarlo a la bomba Diesel ya conocida. Estas bombas de circulación pueden ser a pistón o a engranaje, y suelen estar accionadas por un dispositivo acoplado a la bomba principal de combustible. Por tratarse de un accesorio simple, que no hace al funcionamiento del motor, pues muchos ni la tienen, no le daremos extensión a su estudio, pero es importante para el caso de fallas, según lo estudiaremos en el capítulo 15, que cuando se habla de revisión y limpieza del sistema proveedor de combustible, que esta bomba está incluída en el mismo, a los efectos de su limpieza y revisión.

Día 12

Prácticamente hemos estudiado el funcionamiento de todos los tipos de motores y de sus accesorios principales, de manera que conocemos la diferencia que existe entre un motor a vapor y uno de combustión interna, y de estos últimos, cuáles se denominan a gas, a explosión y Diesel. En cada tipo de motores hay los que funcionan en dos tiempos o en cuatro tiempos. También nos ocupamos en forma detallada de los elementos principales de los motores a explosión, el carburador, y de los motores Diesel, la bomba de combustible.

En el día de hoy nos ocuparemos de un tema muy importante para los motores, como es el de la lubricación. Se trata de ayudar al deslizamiento de piezas móviles en contacto íntimo entre sí, para reducir el desgaste y la elevación excesiva de temperatura por fricción. En los primeros días de labor aprendimos que el trabajo mecánico puede convertirse en calor, y eso es lo que nos preocupa ahora. Debemos tratar que ese calor sea mínimo, y para tal fin ponemos un aceite entre el pistón y el cilindro, en los cojinetes, etc. Pero es más práctico entrar ya en nuestro tema.

LUBRICACION Y LUBRICANTES

LUBRICACION

En todo mecanismo o dispositivo en el que hay piezas en movimiento que rozan entre sí, se hace necesario imponer un flúido viscoso para evitar el desgaste de las piezas y el calentamiento de las partes en contacto. Es así que en máquinas y motores en general se emplean las grasas y aceites que responden al nombre genérico de lubricantes.

Los lubricantes son substancias viscosas y elásticas que se introducen por acción del movimiento o de la presión entre las superficies metálicas rozantes, formando una película sutil que impide el contacto directo de las mismas. Forma así una masa elástica que admite desplazamientos entre sus moléculas.

Puede imaginarse el comportamiento del lubricante admitiendo que está formado por capas superpuestas de sus moléculas. Las dos capas externas quedan adheridas a las superficies metálicas rozantes y las capas intermedias resbalan entre sí permitiendo el deslizamiento suave e impidiendo el roce directo de los metales.

De acuerdo con la velocidad con que se mueven las piezas a lubricar, o una respecto de la otra, se deben utilizar distintos tipos de lubricantes. Asimismo, sus características difieren según la temperatura ambiente y la del lugar en que estén ubicadas. Para el movimiento lento de piezas poco ajustadas, se emplean las grasas minerales y para movimientos rápidos de piezas de mucho ajuste debe utilizarse lubricantes más flúidos como son los aceites minerales. Las primeras y los segundos son derivados del petróleo obtenidos por procesos de destilación fraccionada. Las grasas suelen ser aceites emulsionados.

Sistemas de lubricación

Varios son los métodos empleados para lograr que el aceite de un depósito llegue a introducirse entre las partes rozantes de las máquinas. Entre los pricipales distinguiremos los de gravedad, por salpicado, por presión o de bomba y los combinados que utilizan simultáneamente dos o más de los sistemas anteriores.

Una vez que el lubricante llega al borde o entrada de las superficies rozantes debe filtrarse entre las mismas, para lo cual tiene que ser arrastrado o guiado.

Para arrastrar el aceite pueden utilizarse pie-

zas con ventanas en las que penetra un poco de aceite que luego es llevado en todo el recorrido de la masa en movimiento. Ejemplo típico de ello nos lo dan los aros "rasca-aceite" que se colocan en los pistones de los motores a explosión y que llevan en cada uno de sus orificios el aceite a toda la superficie de contacto entre el pistón y el cilindro.

Para guiar el aceite hacia todas las superficies en contacto se hacen en una de las mismas unas ranuras o canaletas por las que se desliza el lubricante. Esto se aplica en el contacto entre las bielas y el cigüeñal y los cojinetes de bancada.

En los motores a explosión se emplean los sistemas de salpique o de bomba o combinaciones de ambos. El sistema a gravedad es menos frecuente, pero en cambio se lo encuentra en casi todos los cojinetes de motores eléctricos y en otros dispositivos.

Este sistema *de gravedad* es el más simple de todos y consiste en colocar encima del cojinete un pequeño depósito de aceite, que comunica por un orificio con el interior de dicho cojinete. De esta manera el aceite cae por su propio peso y se desliza entre el eje y el cojinete produciendo la lubricación. Dado que no se produce la vuelta del aceite al depósito debe renovarse la provisión en dicho depósito o aceitera a medida que se va consumiendo por pérdidas y evaporación. No hay pues circulación, lo cual implica

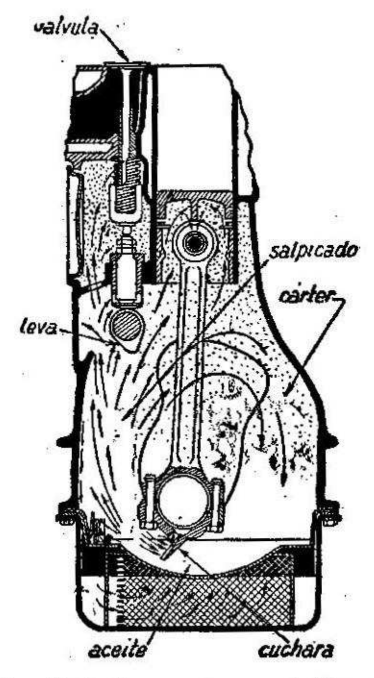


Fig. 145. — Corte de un motor a explosión mostrando el sistema de lubricación por salpicado.

que tampoco se renueva el aceite que está en contacto con las partes móviles. En motores a explosión, debido a la alta temperatura y a la cantidad de piezas en movimiento, no puede emplearse este sistema.

Lubricación por salpicado

Todo el recinto cerrado que contiene el cigüeñal, las bielas y los cojinetes del motor a explosión se llama cárter, y en la figura 145

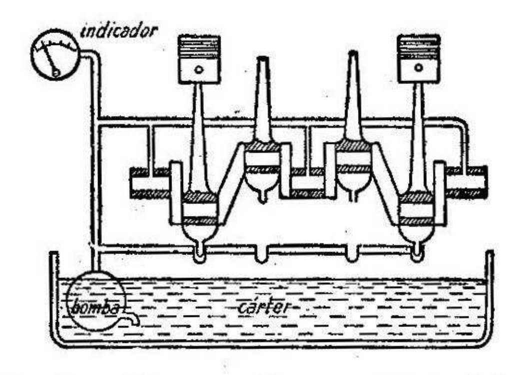


Fig. 146. — Vista esquemática del sistema de lubricación combinado por salpicado y bomba de aceite.

puede verse un corte transversal del mismo. Dentro del cárter se mueven los brazos del cigüeñal y las bielas por lo que se vierte aceite hasta un nivel determinado.

En la prolongación de cada biela existe una especie de cuchara que recoge aceite del fondo del cárter y lo arroja hacia arriba salpicando a todas las partes en movimiento: cigüeñal, biela, pistones, levas, válvulas, etc.

De este modo resulta regulada automáticamente la acción del lubricante, pues el salpicado aumenta con la velocidad del motor. Tiene, no obstante, el inconveniente que al disminuir el nivel del aceite en el cárter, las cucharas no toman la cantidad debida. En el caso de los vehículos sucede que algunos pistones no son lubricados cuando se sube o se baja una cuesta, pues el aceite del cárter se corre a un extremo del mismo.

Lubricación por bomba y salpique

Para evitar los inconvenientes del sistema anterior se coloca una bomba que aspirando aceite del cárter lo lleva por conductos especiales a todos los lugares donde debe producirse la lubricación. Es así como hay una tubería que está comunicada con los cojinetes de bancada del cigüeñal según puede verse en la figura 146.

Como generalmente se emplea un sistema mixto de bomba y salpique, las bielas tienen las cucharas en su prolongación inferior, pero en lugar de recoger aceite del cárter para producir el salpicado, lo toma de unas cubetas que están alimentadas por otra tubería desde la bomba. La inclinación del motor o la reducción del nivel de aceite en el cárter influyen poco en el nivel de las cubetas y nada en la tubería de los cojinetes de bancada.

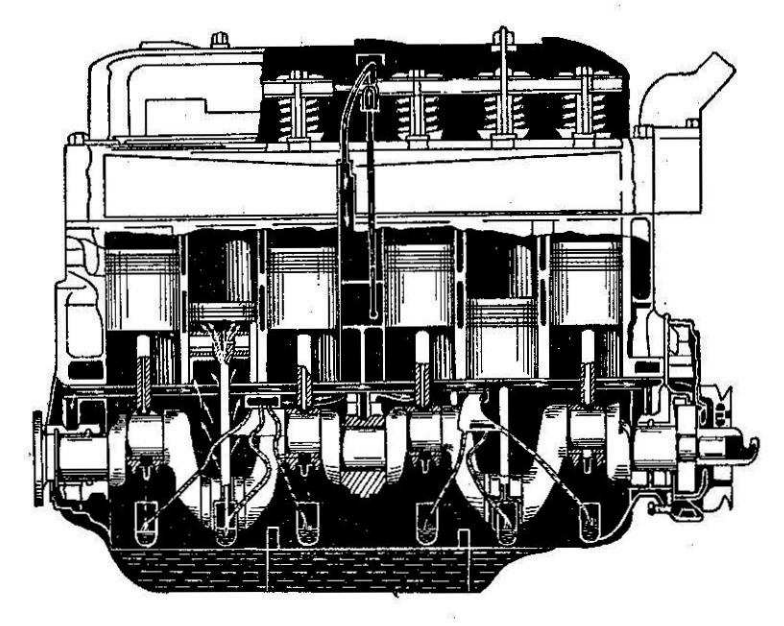


FIG. 147. — Corte longitudinal de un motor a explosión mostrando la ubicación de los elementos en el sistema de lubricación combinado.

Completa el sistema un indicador de la presión del aceite en las tuberías para acusar si la circulación es normal.

La figura 147 muestra un corte longitudinal de un motor a explosión para automóvil, en el que pueden verse los distintos accesorios mencionados anteriormente.

Con respecto a las bombas de combustible, generalmente se usan los tipos a engranajes o sea rotativos, muy adecuadas para el movimiento de líquidos densos. La figura 148 ilustra un modelo de este tipo de bombas que consta de un par de ruedas dentadas de filetes rectos o helicoidales, que engranan en la parte central del cuerpo de bomba. Este modelo es sólo ilustrativo y no debe tomarse como único que se emplee.

La aspiración se realiza por un costado y el líquido es empujado hacia las paredes exteriores, obligado a pasar por la parte cilíndrica del cuerpo de bomba y, finalmente, sale por la tubería de descarga, que queda en dirección opuesta a la de entrada. La propiedad fundamental de estas bombas es que la cantidad o volumen aspirado es constante y que el flujo es continuo, no habiendo, en consecuencia, interrupción de la masa líquida.

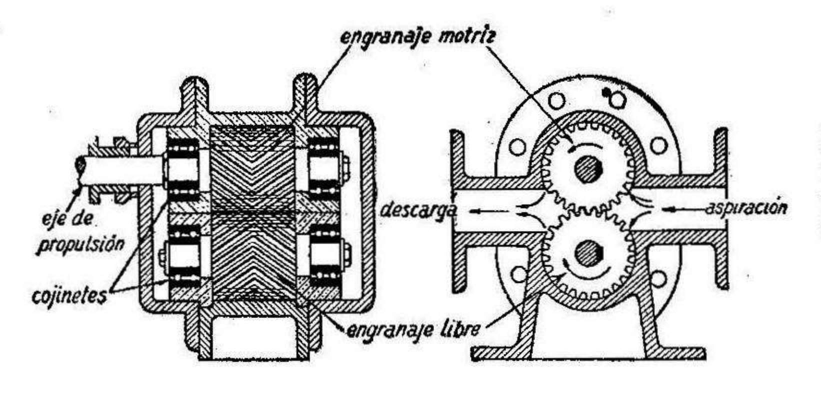


FIG. 148. — Corte longitudinal y transversal de una bomba de engranajes para aceites lubricantes.

Recuperadores y enfriadores

El aceite del cárter va acumulando partículas de suciedad, de carbón y otras que forman un lodo o sedimento que lo va inutilizando en su misión lubricante. Si se extrae el aceite que no ha sido quemado por las altas temperaturas reinantes en el motor, puede ser sometido a una depuración que incluye dos etapas: la decantación y la purificación.

La decantación se realiza en parte en el mismo cárter porque las partículas pesadas en suspensión caen hacia el fondo. Este detalle obliga a lavar el cárter con un aceite muy liviano o un disolvente cuando se desea dejar el motor en buenas condiciones. Quitando el aceite del cárter, colocándolo en un recipiente y dejándolo reposar se deposita el lodo en el fondo.

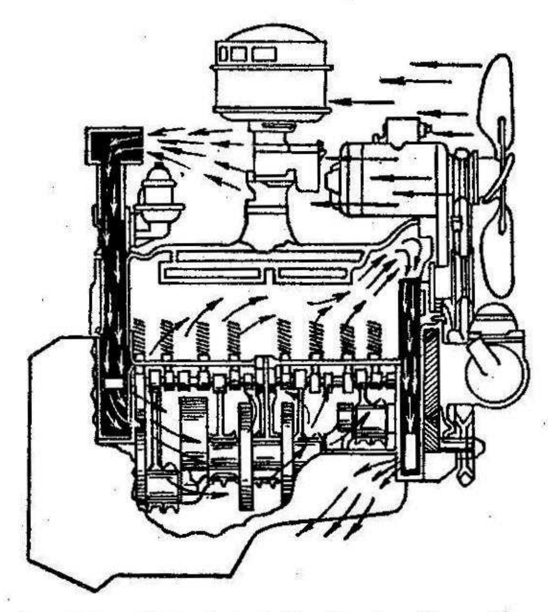


FIG. 149. — Vista de la aplicación de refrigeración a aire para el sistema de lubricación del motor.

La operación siguiente consiste en la purificación o clarificación que se realiza generalmente con separadores centrífugos, o sea recipientes que giran a gran velocidad, proyectando las partículas pesadas sobre las paredes y saliendo el aceite limpio por un orificio central.

Muchas veces un filtrado con papeles o telas especiales suele clarificar suficientemente el aceite para ser usado nuevamente. Otras veces se emplean filtros construídos en capas granulosas con densidades crecientes hacia la parte inferior, de modo que el aceite que va decantando deja los sedimentos en las sucesivas capas atravesadas.

Otra operación auxiliar a realizar con el aceite es la de rebajar su temperatura que ha sido elevada por el contacto de las piezas calientes; tal operación se realiza con los enfriadores. En los motores para vehículos la operación puede ser efectuada por el mismo ventilador que enfría el agua, tal como lo muestra la figura 149. En otros casos se deja que el aire exterior enfríe al cárter y éste al aceite, para lo cual se colocan en las paredes inferiores del primero aletas de irradiación. También suele recurrirse a verdaderos radiadores similares a los que se emplean para la refrigeración del motor, que veremos más adelante.

ACEITES LUBRICANTES

Son substancias líquidas de los más variados orígenes, pues los hay de origen vegetal, mineral y animal. Presentan a la temperatura ambiente una untuosidad que los hace aptos para lubricación. Sin embargo, su uso como lubricante es tan difundido como su empleo como aislante, ya que los aceites gozan de ambas propiedades.

Como aislantes, los aceites se usan para impregnar papeles o telas, y también para llenar recipientes que deben contener elementos aislados. Así encontramos el papel aceitado, como cubierta aislante en los cables subterráneos. También encontramos los transformadores eléctricos y los interruptores de alta tensión sumergidos en baños de aceite, por lo que se colocan en recibientes de contención.

Para usar en transformadores, el aceite debe ser de origen mineral y refinado. Se los elige entre los de punto de inflamación comprendido entre 140° y 150°C, y punto de congelación 5°C bajo cero. Deben ser absolutamente deshidratados. Para interruptores no se exige tanta refinación, pues basta emplear tipos destilados, pero convienen los que tienen puntos de congelación de 15°C bajo cero, porque en el caso de los transformadores trabajan con elevación de temperatura, pero en los interruptores trabajan a la temperatura ambiente.

Para impregnar papeles y telas, se usa aceite vegetal, generalmente el extraído del lino, llamado aceite de linaza.

Los aceites usados como *lubricantes* requieren otras condiciones que los que se emplean como aisladores. Se especifican varias cualidades adicionales y diversos ensayos. Entre las principales

prescripciones para aceites lubricantes, tenemos:

No deben contener ácidos que corroan las superficies de aplicación. Si esos ácidos son orgánicos, y en pequeña proporción, pueden tolerarse.

No deben contener agua en emulsión, pues se reducen notablemente sus propiedades de lubricación. Se reconoce la presencia de agua por la espuma que hace al hervir.

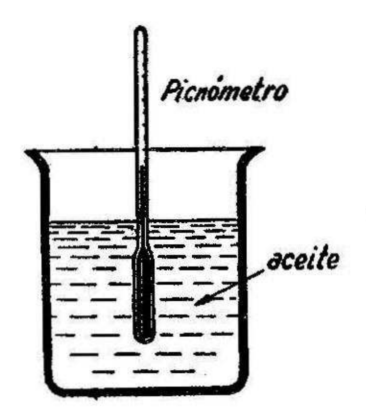


FIG. 150. — Medición de la densidad del aceite.

No deben ser volátiles, para probar lo cual se someten durante dos horas a una temperatura de 180° a 220°C en una estufa; la pérdida de peso da idea de la volatilidad.

No debe emulsionarse con el agua, para evitar la pérdida de sus cualidades. El aceite mineral puro no se emulsiona, pero si tiene substancias jabonosas o resinosas, se emulsiona con facilidad.

No debe carbonizarse, lo que se comprueba calentando durante media hora el aceite a su temperatura de inflamación. Si aparecen residuos en las paredes del tubo de ensayo, debe rechazarse tal tipo de aceite. Todas las prescripciones anteriores se refieren a las cualidades químicas de los aceites lubricantes. Las propiedades físicas son tanto o más importantes, y delimitan las aplicaciones de los diversos tipos. Para cada prescripción hay un ensayo determinado que se puede realizar con facilidad.

Emulsionando aceites con jabones, sosa, cal y varios álcalis, se obtienen las *grasas*, de variado uso en lubricación. Según las propiedades deseadas se usan emulsionantes distintos.

El peso específico de los aceites lubricantes derivados del petróleo varía entre 0,80 a 0,96, y el de los derivados de alquitrán llega hasta 1,1. Para determinarlo se usan los picnómetros (Fig. 150). Son tubos cerrados provistos de cierto peso dentro del bulbo inferior, y graduaciones en la parte superior. Según la densidad del líquido en el que se sumergen, se hunden más o menos, leyéndose donde la superficie del líquido coincida con las graduaciones del tubo.

El punto de inflamación de los aceites, es la temperatura a que llega, cuando los vapores que desprende pueden encenderse con una llama. Es importante este dato para aceites que estarán sometidos a altas temperaturas, como en el caso de los cilindros de los motores de combustión. Para ensayar el punto de inflamación se coloca el aceite en un recipiente abierto (Fig. 151) y se lo calienta lentamente. A cada rato se pasa por encima una llama, para ver si los vapores encienden, y cuando eso sucede, se lee en el termómetro la temperatura. Normalmente, el punto de inflamación oscila entre 180° y 200°C.

El punto de congelación del aceite es la temperatura en la cual pierde su condición de líquido para pasar al estado sólido; en realidad ya pierde sus cualidades antes de la congelación, pues en estado pastoso no sirve como lubricante. Para ensayar el punto de congelación, se enfría aceite mediante una mezcla frigorífica (Fig. 152) que puede ser hielo picado y sal gruesa. Cada minuto se saca el tubo con aceite del recipiente y se inclina un poco, observando si el termómetro que está en el centro se inclina contra las paredes del tubo. La temperatura, para la cual el termómetro no se apoya ense-

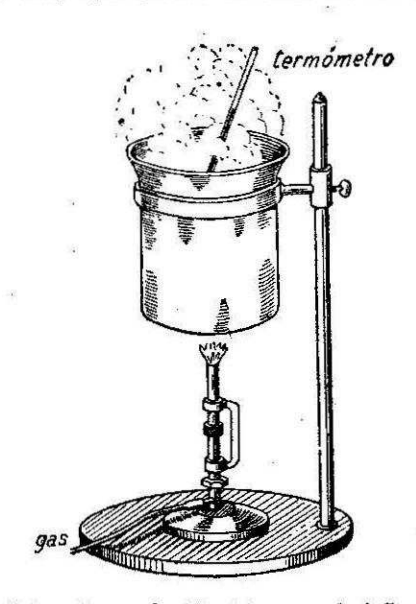


FIG. 151. — Comprobación del punto de inflamación.

guida contra el tubo, se lee, pues es el punto de congelación. Normalmente está comprendido entre 2°C sobre cero y 12°C bajo cero.

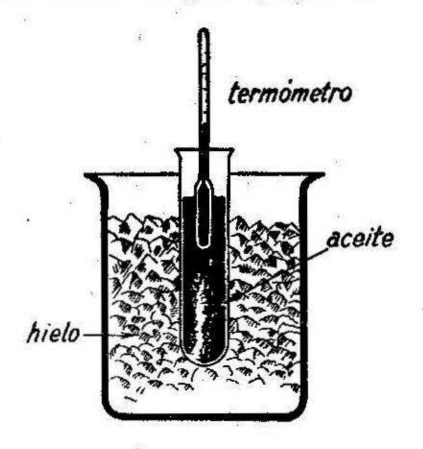


FIG. 152. — Comprobación del punto de congelación.

Viscosidad del aceite

La viscosidad del aceite se mide por la relación entre el tiempo que necesita una cierta cantidad de aceite para fluir por un orificio, y el tiempo que necesita la misma cantidad de agua. Prácticamente, se determina la viscosidad por comparación con aceites de los cuales se sabe la cantidad de grados Engler (medida de la viscosidad en las normas alemanas; grados Engler = °E) mediante un plano inclinado de vidrio (Fig. 153) en el que se colocan gotas de varios aceites. A un tiempo determinado, la longitud que ha recorrido cada gota permite apreciar la viscosidad. Esta determinación, en rigor, suministra el grado de fluidez, relacionado íntimamente con la viscosidad, pero en la práctica se utiliza corrientemente.

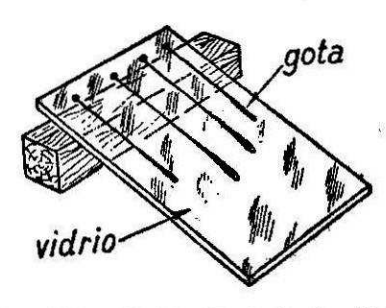


FIG. 153. — Verificación de la viscosidad.

Normalmente, los aceites tienen de 10 a 60 grados Engler, a una temperatura de 20°C, y sólo 5 a 20 grados Engler a 50°C de temperatura.

Fijación práctica de la viscosidad

En la práctica se han adoptado diversas normas para dar la viscosidad de un aceite lubricante, las cuales están reconocidas por siglas o sea conjuntos de letras. Por ejemplo, en los Estados Unidos la Society Automotive Engineers (S.A.E.) ha adoptado normas que han tenido tal aceptación que se conocen en todo el mundo. En nuestro país los aceites lubricantes se expenden según normas S.A.E., por lo que es necesario conocerlas.

En primer término, digamos que la viscosidad no se mide en los laboratorios con el aparato simple de la figura 153, sino con otros especiales llamados *viscosímetros*, de los cuales el más aceptado es el modelo de Saybolt. En este aparato se deja escurrir el aceite por un pequeño orificio, y se mide el tiempo de escurrido de una cantidad fija de aceite, unos 60 centímetros cúbicos, estando el mismo a una temperatura determinada. La cantidad de segundos que tarda en escurrir esa cantidad de aceite es un número que mide precisamente la viscosidad, pero hay que especificar que se trata de una viscosidad determinada por la sigla SSU (iniciales de *Saybolt Universal Seconds*). Teniendo un aceite, se puede medir la viscosidad SSU y asunto terminado, pero el sistema S.A.E. es más práctico, pues fija dos límites SSU para cada número de aceite.

Esto se aclara diciendo que, por ejemplo, un aceite S.A.E. 20 es uno que probado a 54,4°C tuvo índices de viscosidad SSU comprendidos entre las cifras 120 y 185, o sea que tardó una cantidad de segundos para fluir 60 centímetros cúbicos, comprendida entre esas dos cifras.

Hay que hacer una salvedad y es que cada motor tiene indicado el tipo de aceite a emplear, mediante la especificación del número S.A.E. que le corresponde, pero ello no indica el tipo de aceite según su composición. Los motores a explosión de cuatro tiempos usan los aceites comunes pero los de dos tiempos usan tipos especiales con mayor solubilidad en nafta, ya que hay que mezclarlos. Ejemplos son el X100 y el 2T de la Shell. Para motores Diesel se usan aceites con aditivos, generalmente detergentes que quitan los residuos grasos del gas-oil o cualquier otro combustible pesado. Los aceites con detergente se denominan en la práctica como tipo H.D. (del inglés *Heavy Duty*: trabajos pesados). Dentro de los tipos especiales para motores de dos tiempos y para motores Diesel, se establecen también viscosidades adecuadas para el uso en cada tipo de motor, mediante un número S.A.E.

Día 13

Después del estudio de los motores de todos los tipos que se emplean en la práctica, nos dedicamos en la jornada anterior a la lubricación de los mismos, para mejorar el funcionamiento y reducir la elevación de temperatura de las piezas que rozan entre sí. Pero hay otras partes de los motores que también elevan su temperatura sin que haya roce alguno, como son las paredes del motor, la tapa, etc., y las que se calientan por roce, aún disminuido por la lubricación, como las paredes de los cilindros. Todas esas partes deben mantenerse a una temperatura que no sea excesiva, porque los metales tienen fijadas sus temperaturas máximas de trabajo. Pasado ese límite los aceros templados se destemplan y más allá pueden llegar hasta a fundirse. Además, los cojinetes tienen metales de bajo punto de fusión, y todos hemos oído hablar de fundir bielas, aunque en realidad lo que se funde es el cojinete de tal biela.

Evidentemente no hay que llegar a esos extremos y para tal fin hay que enfriar los motores; eso puede hacerse con aire o con agua, pues son elementos baratos. En la jornada presente nos ocuparemos de estudiar la refrigeración de los motores térmicos.

REFRIGERACION DE MOTORES

La combustión de la mezcla carburante en la cámara superior del cilindro se produce a temperaturas muy elevadas, próximas a los 2000°C, por lo que todas las partes cercanas sufren un calentamiento considerable. Desde luego, las paredes del cilindro y del pistón no pueden llegar a la temperatura de 1800°C del instante de la explosión, porque parte del calor se transforma en energía mecánica y parte queda en los gases quemados que salen por la tubería de escape a cerca de 80°C, pero de todos modos alcanzarían temperaturas inadmisibles para el funcionamiento del motor.

Para justificar la última aseveración basta pensar que tan altas temperaturas dilatarían las piezas metálicas impidiendo los movimientos. Además, hay que tener en cuenta que los aceites lubricantes tienen su punto de inflamación a temperaturas de unos 300°C, por lo que hay que mantenerse por debajo de la misma. Otro detalle a tener en cuenta es el que con la cámara de combustión a temperaturas muy elevadas se produciría la explosión de la mezcla carburante cuando la compresión fuera suficiente para ello, y antes de que la bujía suministre la chispa de encendido. Este fenómeno que se llama autoencendido produce un funcionamiento sumamente defectuoso del motor.

En resumen, hay que enfriar la cámara de combustión y paredes del cilindro para impedir los efectos antes mencionados, y aunque se conspire contra el rendimiento térmico del motor, puesto que el enfriamiento absorbe calor, lo cual representa una pérdida.

Se tiene pues un problema con dos aspectos principales que son opuestos en su tendencia: por un lado conviene enfriar el motor para asegurar su funcionamiento correcto, y por otro lado no conviene enfriarlo mucho para no reducir su rendimiento térmico. El diseño del sistema de refrigeración debe pues contemplar un justo equilibrio entre los dos factores anteriores.

Para enfriar cuerpos calientes se puede recurrir a varios sistemas, pero en la práctica se prefieren los dos más simples, que emplean flúidos de fácil obtención. Se tiene pues que la refrigeración se hace por aire o por agua. El sistema que emplea aire tiene la ventaja de su alimentación espontánea, pero no siempre puede emplearse.

Enfriamiento por aire forzado

El simple expediente de dejar el motor al contacto con el aire no es suficiente para una refrigeración correcta, pues el aire en reposo no absorbe una cantidad de calor considerable. Para utilizar este flúido se requieren ciertas condiciones de diseño y de funcionamiento.

El sistema de refrigeración a aire tiene que basarse en una transmisión de calor por convección y por lo tanto dos son las condiciones primordiales: gran superficie de contacto entre las partes a enfriar y el aire, y gran velocidad de desplazamiento de éste con respecto a aquéllas. Surgen así dos posibilidades, según el motor se desplace velozmente o se haga lo propio con el aire.

El primero se llama enfriamiento a *aire natural* y sólo puede emplearse en motores para vehículos veloces como ser aviones, motos, etc. A fin de aumentar la superficie de contacto con el aire se hacen las paredes exteriores del cilindro con aletas salientes, tal como puede verse en la figura 154, que corresponde a un motor de motocicleta. Al desplazarse el motor en el aire se enfrían las aletas y las paredes del cilindro, en proporción que depende de la velocidad y de la temperatura del aire.

Esas dependencias del enfriamiento con la velocidad del motor y la temperatura del aire demuestran el mayor de los inconvenientes de este sistema, puesto que estando el vehículo detenido no hay enfriamiento. Además, en verano, que es cuando debería producirse en mayor grado, el enfriamiento es menor que en invierno, por ser mayor la temperatura del aire. Todavía puede mencionarse el inconveniente de que en los motores multicilíndricos en línea, se enfrían más los cilindros delanteros que los traseros; ello no ocurre en los motores de aviación en estrella y motocicletas monocilíndricas.

Por todas las razones apuntadas el sistema descripto no se emplea en motores fijos ni en motores multicilíndricos en línea o en V.

El otro sistema de enfriamiento a aire se llama por *aire forzado* y trata de aprovechar la simplicidad que suministra el empleo de este flúido, evitando al mismo tiempo los defectos de la refrigeración natural. Consiste en desplazar el aire mediante un ventilador o una bomba por conductos que rodean los cilindros en forma de camisas. De este modo la corriente enfriante puede ser regulada por variación del caudal de aire, a la par que se consigue que todos los cilindros se enfríen por igual.

Generalmente el ventilador o la bomba son accionados por el eje del mismo motor, de modo que automáticamente aumenta la circulación del aire con la velocidad del motor, tal como debe ocurrir.

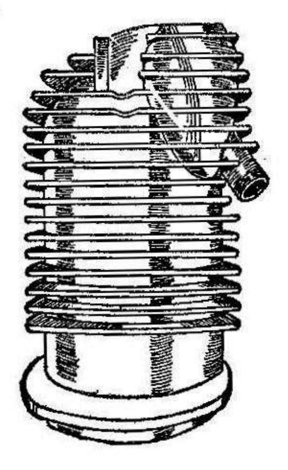


FIG. 154. — Disposición de las aletas en la camisa exterior de un motor, para mejorar la refrigeración natural.

El sistema de enfriamiento por aire forzado no se ha difundido, pese a su simplicidad, pues ha sido reemplazado el aire por el agua, como flúido refrigerante. No obstante encontramos varios tipos de motores enfriados por aire forzado.

Enfriamiento por agua

El reemplazo del aire por el agua en los sistemas de enfriamiento para motores se debe a la mayor conductibilidad térmica de ésta y su mayor capacidad de absorción de calor. La fácil obtención del agua no ha introducido un problema económico en el sistema mencionado.

Para enfriar una superficie caliente por medio del agua puede recurrirse a dos procedimientos, según se emplee la transmisión del calor por conducción o por convección: agua en reposo o agua en movimiento.

Colocando agua en reposo en contacto con la superficie caliente, el calor se transmite principalmente por conducción a través del contacto, produciendo la evaporación del agua. Si en cambio se hace circular el agua, ésta toma calor de la superficie caliente y la lleva consigo. Enfriándola en otro lugar se la puede volver a hacer pasar por la superficie caliente, teniéndose así una circulación cerrada. Describiremos con mayor detalle los dos sistemas.

Enfriamiento por evaporación

En algunos motores fijos para uso industrial se rodea al cilindro de una cámara o camisa a modo de recipiente abierto en la parte superior. Dentro del mismo se coloca agua, que queda así en contacto con las paredes calientes del cilindro, tomando calor de las mismas y evaporándose.

Dado que el agua absorbe 539 Calorías por kilogramo para vaporizarse, representa un buen elemento enfriador. Es evidente que hay que reponer el agua evaporada manteniendo el nivel en la camisa, lo cual puede hacerse mediante un depósito con una válvula automática de nivel constante, similar a la que se describió para los carburadores.

Como la transmisión de calor por conducción es menos enérgica que la que se produce si se hace circular el agua, el sistema descrito no se ha difundido y ha sido reemplazado prácticamente por el de circulación de agua.

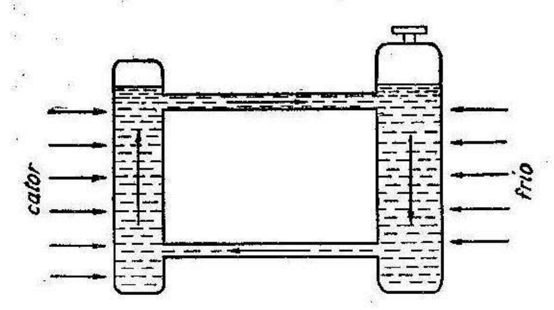


Fig. 155. — Corte esquemático del principio de funcionamiento del termo-sifón en un sistema de refrigeración.

Enfriamiento por termosifón

Demostrada la eficacia de la refrigeración por circulación de flúido sólo resta describir la forma cómo se ha llevado a la práctica. Para ello nos referiremos a la figura 155 que muestra dos depósitos comunicados entre sí en las partes superior e inferior. Uno de ellos está sometido a la acción del calor y otro a la del frío.

En rigor el sistema se basa en el principio del *termosifón*, que es el encargado de producir la circulación del agua. Es sabido que calentando agua se reduce su densidad y enfriándola aumenta. Por tal motivo en el depósito caliente de la izquierda el agua tiende a subir constantemente y en el frío de la derecha tiende a bajar. Como hay dos conductos de comunicación, se establece una circulación cerrada según la dirección marcada por las flechas.

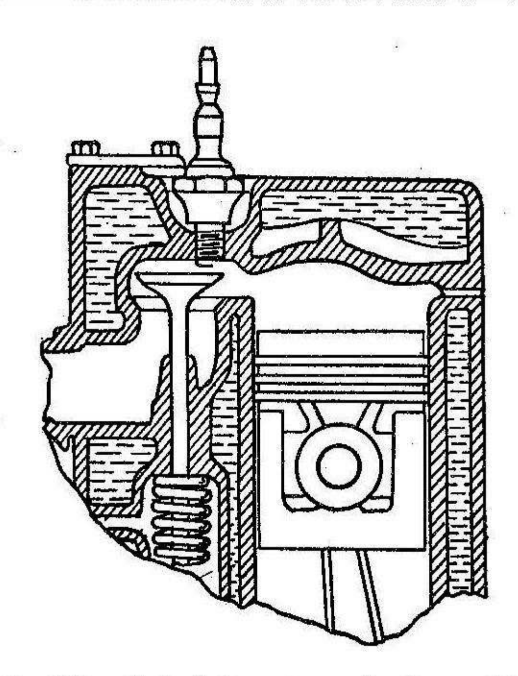


Fig. 156. — Corte de la parte superior de un motor a explosión mostrando la ubicación de las camisas de agua de refrigeración.

Para aplicar este principio a motores a explosión, habrá que establecer la existencia de los depósitos fríos y calientes y de los conductos de comunicación. El depósito caliente no es otra cosa que las camisas laterales y superiores de los cilindros que están indicadas en figura 156 y que se refieren a un tipo determinado de motor, pues sus formas difieren para otros modelos. Aquí el agua se calienta al contacto con las paredes metálicas y tenemos así constantemente el depósito caliente.

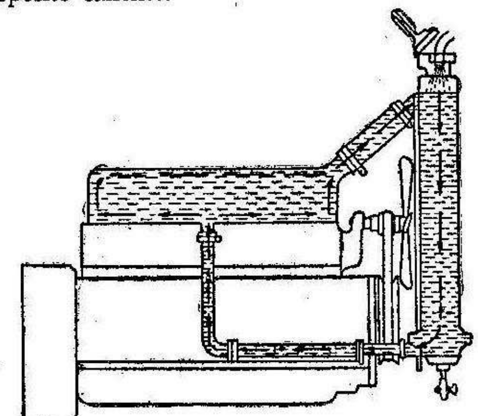


Fig. 157. — Corte esquemático longitudinal de un motor a explosión con el sistema de refrigeración a circulación natural de agua, es decir, sin bomba de agua.

El depósito frío está formado por un radiador en el cual el agua debe ser enfriada por acción de una corriente de aire. Para tal fin se construye el mismo en forma celular con muchas pequeñas aletas a efecto de aumentar la superficie enfriante.

En la figura 157 se muestra en forma esquemática la instalación completa, con las flechas indicadoras de la circulación de agua en el termo-sifón. Para enfriar el agua se coloca un ventilador, que es accionado por el eje del mismo motor y que produce una fuerte corriente de aire refrigerante. En los vehículos la acción del ventilador se complementa con la que produce la circulación de aire debida a la marcha. No obstante, el ventilador es indispensable, puesto que al estar detenido el vehículo o marchar a baja velocidad no se produce prácticamente circulación material de aire.

Como el agua entra en ebullición al llegar a los 100°C, debe calcularse el radiador y la cantidad de agua de modo que no se alcance esta temperatura. Como medida preventiva contra cualquier desperfecto en el sistema de refrigeración se coloca un termómetro que indica directamente la temperatura del agua. Se encuentran termómetros con escala centígrada o escala Fahrenheit. En la escala centígrada la graduación es de 0°C a 100°C, teniéndose normalmente como temperatura máxima del agua unos 80°C. En la escala Fahrenheit la graduación es de 32°F a 212°F, que corresponden a los límites de la escala centígrada; la temperatura máxima normal en esta escala es de unos 180°F (exactamente 80°C son 176°F).

Si bien la circulación cerrada de agua a temperatura inferior a la de ebullición hace aparentemente innecesaria la reposición de líquido, no obstante, la evaporación y algunas pérdidas exigen que se complete la provisión en el radiador hasta su total llenado. El rebalse por exceso del agua vertida se hace generalmente por un pequeño tubo de descarga, el cual sirve también para dar salida al vapor en el caso que se produjera la ebullición del agua por mal funcionamiento del sistema de refrigeración; una de las causas frecuentes de esto es la rotura de la correa del ventilador.

El elemento importante de una instalación a termosifón es el radiador, cuyo aspecto exterior se puede ver en la figura 158. Está construído con numerosas celdillas o una malla de aletas y cañitos, pero esencialmente se trata de darle mucha superficie en contacto con el aire comparada con la interna de circulación de agua. Los orificios que se ven en la figura son los de entrada y salida de agua, y a ellos se conectan las mangueras de circulación. Como es lógico, bastan dos conductos, uno para la entrada y otro para la salida, pero muchos modelos tienen cuatro, o sea dos y dos. En la parte superior se observa la tapa para echar el agua y mantenerlo lleno, pues ese detalle no debe ser descuidado. En la parte inferior tienen un robinete de purga, que sirve para descargarlo totalmente cuando se desea cambiar el agua, que ha adquirido muchos sedimentos, por agua limpia.

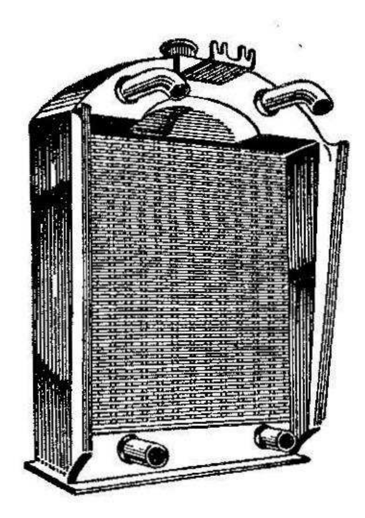


FIG. 158. — Aspecto de un radiador para enfriar el agua de refrigeración del motor.

Inmediatamente detrás del radiador está el ventilador que sopla el aire contra el mismo. En los motores fijos el radiador debe calcularse para la refrigeración completa, mientras que en los motores para vehículos, se tiene la ventaja que la marcha provee de un paso de aire adicional que colabora en la refrigeración.

Enfriamiento por circulación a bomba

En la práctica da resultados a veces insuficientes el enfriamiento por circulación de agua cuando ésta se realiza por termo-sifón solamente. Ello ocurre cuando al diseñar el motor resultan dimensiones exageradas para el radiador o las camisas. En tal caso se recurre a producir la circulación mediante una bomba.

En la figura 159 se puede ver esquemáticamente el circuito de circulación de este sistema. La bomba es rotativa y está accionada por el mismo motor, notándose en la figura el eje auxiliar para el acoplamiento. Es evidente que si

bien la circulación la produce en principio la bomba, no puede evitarse que el termo-sifón funcione como tal, cooperando en el proceso. Fuera de la inclusión de la bomba el circuito no tiene ninguna novedad con respecto al anterior.

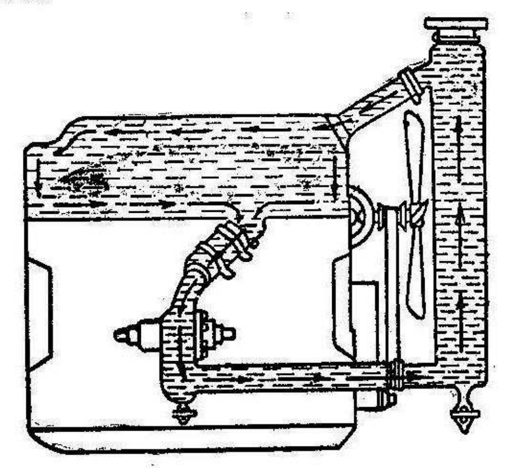


FIG. 159. — Aplicación de una bomba de agua al sistema de refrigeración para obtener circulación forzada.

La bomba de agua es rotativa a paletas, correspondiendo al tipo denominado *centrífuga* y sus detalles constructivos pueden verse en la figura 160, que ilustra un modelo de los empleados en los automóviles. Por su funcionamiento puede asimilarse a una turbina de acción invertida.

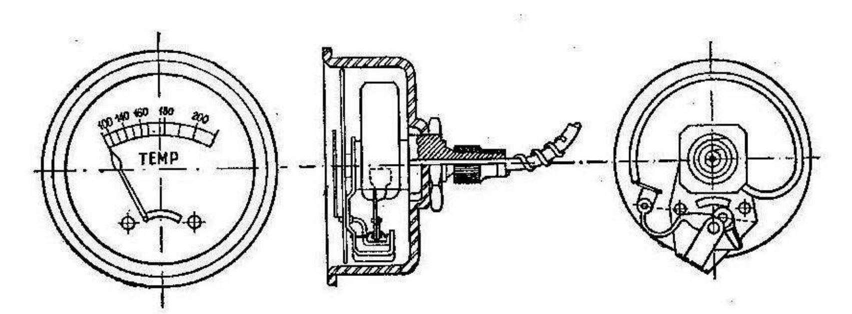


FIG. 161. — Termómetro a tubo de Bourdon para acusar la temperatura del agua de refrigeración del motor.

Hemos mencionado la existencia de un termómetro que indica directamente la temperatura del agua. Generalmente se emplea el tipo a tubo de Bourdon, que consta de un cañito encorvado que modifica su curvatura de acuerdo con las variaciones de temperatura. En la figura 161 se ilustra un modelo de los empleados en automóviles que tienen escala Fahrenheit. Consta del mecanismo de la aguja acoplada al tubo sensible y la tubería que va desde el termómetro hasta el agua del motor, en el seno de la cual se coloca un bulbo sensible a las variaciones de temperatura.

Termostatos para regular la circulación

La circulación de agua de enfriamiento rebaja la temperatura de las partes del motor en contacto con ella, pero eso puede ser inconveniente en algunos casos. Entendamos que la inconveniencia no está en la refrigeración en sí, sino en que sea plena, sin poderla regular.

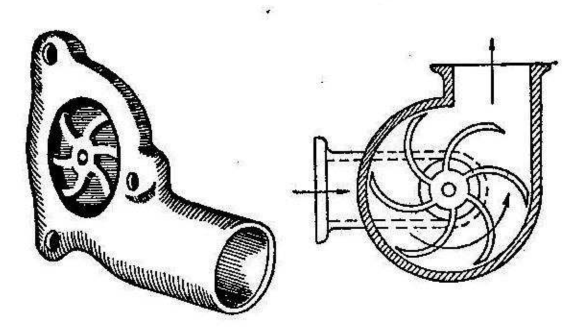


FIG. 160. — Aspecto de uno de los sistemas de bomba de agua provista de paletas.

Veamos el primer caso: cuando el motor arranca, en tiempo frío, sería conveniente no hacer actuar al agua de refrigeración para que se alcance más rápido la temperatura normal de trabajo. Para tal fin se debería cortar la circulación de agua o reducirla de tal forma que a medida que el motor se va calentando, esa circulación aumente hasta hacerse normal.

Veamos otro caso: en zonas muy frías, la circulación plena de agua no permite al motor alcanzar nunca su temperatura normal de trabajo. Si se dispusiera de un sistema de reducción sobre la circulación de agua de refrigeración, se obviaría el inconveniente.

Los dos casos presentados son suficientes pa-

ra justificar el uso del dispositivo automático que pasamos a describir y que se llama *termostato*. La figura 162 muestra uno de los mode-

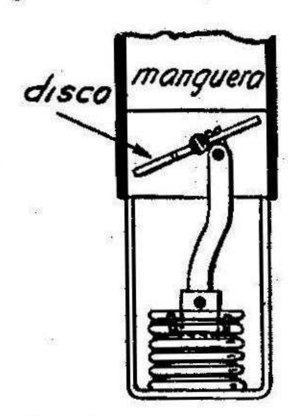


FIG. 162. — Tipo de termostato para regular automáticamente la circulación de agua.

los más usados de termostatos, que se intercalan en la manguera de circulación de agua, y que actúan sobre una mariposa o disco que está colocado en forma transversal a esa manguera; es evidente que cuando el disco ocupa una posición horizontal, el agua no puede circular; y cuando está vertical circula a pleno, sin oposición. Las posiciones intermedias son las de regulación.

El termostato en si está formado por un fuelle de bronce, de forma cilíndrica, que está lleno de alcohol. El alcohol frío está en estado líquido, pero al calentarse se gasifica y dilata al fuelle, cerrando la mariposa de la manguera. Al enfriarse el alcohol se condensa, el fuelle se contrae y la mariposa vuelve a abrirse. Calculando bien las cosas, se ve que se puede disponer de un dispositivo automático que regula perfectamente la circulación de agua por la manguera del motor.

Otros modelos más económicos están formados por una espira de dos metales yuxtapuestos, que se dilata por efecto del calor y se contrae por el del frío. El extremo de la espira se sujeta al disco o mariposa, y la acción es similar al fuelle de alcohol, aunque menos precisa.

Día 14

Ya hemos estudiado el funcionamiento de todos los tipos de motores que encontramos en la práctica, si bien hay algunos que no se han mencionado por ser muy raros o muy antiguos. Conocemos así las partes que integran los motores de vapor y los de combustión interna, entre estos últimos los de gas, de explosión y los Diesel. También nos hemos dedicado a estudiar la lubricación y refrigeración de todos los tipos de motores y sabemos la clase de combustible que emplea cada uno.

Ha llegado el momento de tratar el aspecto técnico del motor en sí para completar el estudio realizado. Y ahora encontraremos que los temas estudiados los tres primeros días tienen una justificación, pues necesitamos, por ejemplo, calcular la cilindrada, la potencia, el rendimiento, y todo ello requiere algunos conocimientos previos.

Es obligado entonces hacer un repaso de las nociones de mecánica, energía y termología. El tiempo que invertiremos en esto se verá compensado con creces cuando, al finalizar la presente jornada, podamos relacionar la cilindrada de un motor con su potencia, hablar del rendimiento, hacer cálculos simples pero importantes sobre algunos detalles que siempre interesan y, en fin, considerar al motor como un organismo responsable que cumple una función transformándonos energía y prestándonos un servicio.

POTENCIA DEL MOTOR

Consideraciones generales

Para resolver los problemas que se nos presentarán en el estudio a realizar se necesitan algunos conocimientos previos. Por ejemplo, tenemos que recordar algo de Geometría, que no hemos estudiado por suponer que eso se aprende en la escuela primaria. Necesitamos saber cómo se calcula el volumen de un cilindro, y recordaremos que bastaba multiplicar la superficie de la base por la altura; la superficie de la base, por tratarse de un círculo se calculaba multiplicando el número *pi* (3,14) por el cuadrado del radio, o, lo que es lo mismo y se prefiere en la técnica, multiplicando el número *pi* por el cuadrado del diámetro y dividiendo por 4.

Otra cosa que necesitamos recordar es el concepto de potencia, visto en el capítulo 2. Habíamos dicho que potencia era el trabajo realizado en la unidad de tiempo, o sea en un segundo. En el mismo capítulo aprendimos que el rendimiento se calculaba dividiendo el trabajo útil por el total o invertido. La cifra de rendimiento se puede expresar en % multiplicando el resultado del cociente por 100.

En ese mismo capítulo estudiamos que la energía térmica se puede transformar en energía mecánica, y en el capítulo 3 aprendimos que esas dos energías tienen una cifra de equivalencia, cifra que era: 1 Caloría equivale a 427 kilográmetros. También hemos estudiado que si dividimos el trabajo expresado en kilográmetros por el tiempo en segundos tenemos la potencia, pero si dividimos esa potencia por 75 la tendremos expresada en C.V. o sea en caballos (no confundir con el H.P. que es casi igual pero no igual).

Ya tenemos unos cuantos elementos de juicio para retomar el tema de calcular la potencia del motor. Empezaremos por la cilindrada, que es muy útil y fácil de determinar.

Luego veremos la manera de calcular la potencia de un motor, que también es fácil, si recordamos los conocimientos previos que se han mencionado. Siendo el motor un disposi-

tivo capaz de producir trabajo, puede determinarse esa capacidad mediante el cálculo de su potencia. Las consideraciones siguientes pueden extenderse a todos los tipos de motores a combustión.

Cilindrada del motor

En los motores a explosión se define un volumen característico que determina su capacidad de trabajo; es el volumen que desplaza el pistón durante su carrera útil, y que se llama *cilindrada.*

Si nos referimos a la figura 163, en ella se indican las dimensiones necesarias para determinar ese volumen referido a un cilindro. En efecto, la carrera del pistón que coincide con el diámetro útil del cigüeñal es la altura del cilindro simbólico. El diámetro del mismo coincide con el del pistón.

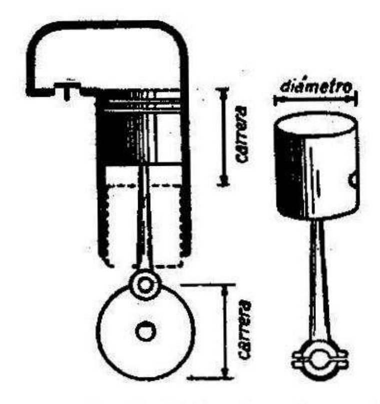


FIG. 163. — Indicación de las dimensiones principales a tener en cuenta para el cálculo de la cilindrada de un motor.

El volumen del cilindro se calcula por el producto de la superficie de la base por la altura, de modo que se tiene, en primer término:

$$\text{Superficie de la base, } S = \frac{3{,}14 \times D^2}{4}$$

En cuya fórmula se toma el diámetro D del pistón en cm, y resulta la superficie S en cm^2. Si la carrera del pistón es C en cm, el volumen útil del cilindro vale:

$$\text{Volumen cilindro } V = S \times C$$

y resulta dado en cm^3. Pero el motor tiene generalmente más de un cilindro, una cantidad N de cilindros, por lo que la *cilindrada* total será:

$$\text{Cilindrada} = V \times N$$

que estará dado en cm^3. En la práctica es más común dar la cilindrada en litros, por lo que la cifra anterior, en cm^3, se debe dividir por 1.000.

Ejemplo: Un motor de cuatro cilindros de 10 cm de diámetro cada uno, con carrera útil de 8 cm, tendrá una cilindrada de:

$$S = \frac{3{,}14 \times 10 \times 10}{4} = 78{,}5 \text{ cm}^2$$

$$V = 78{,}5 \times 8 = 628 \text{ cm}^3$$

$$\text{Cilindrada} = 628 \times 4 = 2.512 \text{ cm}^3$$

$$\text{Cilindrada} = \frac{2.512}{1.000} = 2{,}512 \text{ litros}$$

Potencia nominal del motor

Si recordamos los conceptos sobre energía y potencia vistos en los capítulos 2 y 3, podemos determinar la potencia del motor, pues basta conocer la cantidad de combustible que consume, y de éste, saber la cantidad de calorías.

De acuerdo con las consideraciones anteriores, basta conocer el consumo horario de combustible, y el poder calórico del mismo para calcular la potencia teórica o nominal del motor.

Para tal fin recordemos que la potencia era el trabajo realizado en un segundo, por cuya razón habrá que dividir por 3600 al consumo horario. Además como se desea tener la potencia en C.V. no hay más que dividir los Kgm resultantes por 75. Y a esto agreguemos que el consumo horario se transforma en calorías multiplicándolo por el poder calórico (Calorías por litro), y en Kgm multiplicándolo por 427. No debe pensarse que esta potencia sea la útil del motor, sino la nominal.

Se puede, pues, fijar la expresión que determina la potencia nominal con sólo seguir las operaciones mencionadas:

$$\text{Potencia nominal} = \frac{427 \times L \times p}{3.600 \times 75}$$

donde L = litros por hora de combustible; p = poder calorífico del combustible (Calorías por litro).

Ejemplo: Un motor consume 2 litros de nafta de 10.000 Calorías por hora. Se desea saber su potencia nominal.

$$Pn = \frac{427 \times 2 \times 10.000}{3.600 \times 75} = 31{,}6 \text{ C.V.}$$

Potencia indicada

Para poder determinar la potencia capaz de desarrollar un motor se debe conocer la presión que reina en el cilindro durante el funcionamiento. Esa presión es difícil de calcular en forma teórica, por lo que se recurrió a los indicadores, de los que el más común es el de Watt, ilustrado esquemáticamente en la figura 53, junto a la cual encontramos la explicación del funcionamiento.

El diagrama de trabajo es un índice de la potencia que desarrolla el motor, pues su área es proporcional a dicha potencia. Con el diagrama obtenido en el indicador se puede determinar la potencia real desarrollada. Para poder calcularla hay que conocer la constante propia del aparato dada en función del resorte empleado. Los indicadores vienen con su juego de resortes y sus constantes para dicho fin.

Con este indicador se obtiene la curva que representa el ciclo de trabajo, o sea las presiones según el volumen que va tomando el cilindro durante el desplazamiento del pistón. El aspecto característico de la curva obtenida se vio en la figura 80.

Cálculo de la potencia conociendo la presión y la velocidad

La potencia indicada, o sea la que es capaz de entregar el motor sin tener en cuenta las pérdidas mecánicas, se puede calcular si se conoce la presión media que hay en cada cilindro, o sea el promedio de presiones durante un ciclo de trabajo. Si se conecta un manómetro en el orificio destinado a la bujía, la aguja del aparato nos indicará la presión, y la llamamos p. También necesitamos conocer la carrera del pistón, que hemos llamado C, y la superficie útil de la base del pistón, que hemos llamado S, aquella en centímetros y ésta en cm^2. Con estos datos, y sabiendo que al número de cilindros del motor lo llamamos N, podemos calcular la potencia indicada del motor, a un régimen dado en r.p.m. que denominaremos con la letra n. Esa potencia vale:

$$Pi = \frac{p \times S \times C \times n \times N}{60 \times 2 \times 75}$$

donde los divisores numéricos son para tomar la velocidad en segundos, la potencia en caballos y el 2 es porque los motores de cuatro tiempos sólo tienen una revolución en que producen trabajo.

Ejemplo: Un motor de 4 cilindros gira a 1.500 r.p.m.; El manómetro acusó una presión media de 10 atmósferas o Kg/cm^2 y cada cilindro tiene 10 cm de diámetro y 12 cm de carrera. Calculemos la potencia indicada.

Primero la superficie de la base del pistón:

$$S = \frac{3{,}14 \times 10 \times 10}{4} = 78{,}5 \text{ cm}^2$$

ahora aplicamos la fórmula de la potencia:

$$Pi = \frac{10 \times 78{,}5 \times 12 \times 1.500 \times 4}{60 \times 2 \times 75} = 62{,}8 \text{ CV}$$

Potencia al freno

Se trata de determinar la potencia efectiva del motor, o sea la que está disponible sobre la polea motriz. Esta se llama potencia al freno y se la refiere a un régimen de velocidad que generalmente es el nominal indicado por la fábrica, o bien otro para el cual se desea saber cómo funciona el motor. Para el régimen normal la potencia es máxima.

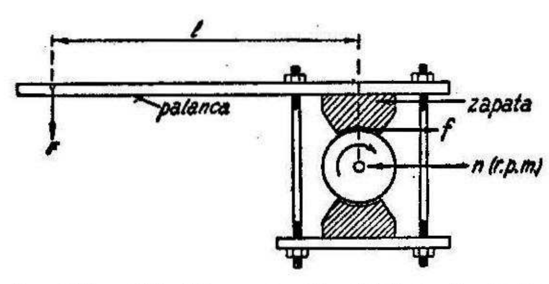


FIG. 164. — Principio constructivo del freno de zapata que permite determinar el rendimiento del motor.

Para poder determinar la potencia al freno de un motor se utiliza cualquiera de los tipos de frenos mecánicos o hidráulicos, todos los cuales determinan en realidad el par motor únicamente. El otro factor que interesa, es decir, el número de revoluciones por minuto, se mide con un taquímetro aplicado directamente al eje del motor. La aguja de este aparato permite leer directamente en la escala el número de revoluciones.

Describiremos el procedimiento con el freno de Prony, por ser el más simple y que se ilustra en la figura 164. Consta de dos zapatas que se ajustan sobre la polea del motor mediante dos pernos roscados. Tiene una palanca larga, en el extremo de la cual se cuelgan pesas sobre un platillo.

Ajustado el freno se agregan pesas hasta que la palanca quede en posición horizontal. Esta

indica que se ha establecido el equilibrio entre la cupla de la fuerza F (pesas suspendidas) y la fuerza de rozamiento f de las zapatas. Como en la práctica se trabaja con aparatos de constantes conocidas, interesa saber el valor de la fuerza F, o sea el peso en Kg colgado en la palanca, de largo l en metros. Además debe medirse el número n de revoluciones por minuto. Sale así la potencia útil del motor con la fórmula:

$$Pu = \frac{F \times l \times n}{716,2}$$

directamente en C.V. (caballos)

Ejemplo: Un motor con velocidad 1.500 r.p.m. se le aplicó el freno con un peso de 6 Kg a un brazo de palanca de 50 cm. Se desea saber la potencia útil:

$$Pu = \frac{6 \times 0,5 \times 1.500}{716,2} = 6,2 \text{ C.V.}$$

Rendimiento del motor

No toda la energía producida por el motor se aprovecha con fines útiles, pues siempre la potencia efectiva es menor que la indicada. Recordemos los conceptos vistos en el capítulo 2, donde llegamos a la expresión del rendimiento:

$$R = \frac{100\ Pu}{Pn}$$

donde hemos puesto directamente la potencia útil y la total o nominal en lugar de los trabajos. El rendimiento usual en motores a explosión es del 30 %, cifra baja que se justifica por el mal aprovechamiento de toda transformación de energía térmica en mecánica.

Describiremos brevemente las pérdidas que se producen en un motor para que se note qué orden de importancia tienen las de carácter térmico. Pueden clasificarse las pérdidas de los motores en dos grupos: térmicas y mecánicas.

Las *pérdidas térmicas* son las más importantes, y entre ellas la mayor proporción está en el calor que llevan los gases de escape. Debido a que la mezcla carburante, después de la combustión queda a elevada temperatura, lleva consigo al escape una cantidad apreciable de calor, que representa cerca del 40 % de la energía disponible en el combustible.

En motores de gran potencia suelen instalarse recuperadores del calor de escape para aprovechar parte de esa energía perdida, pero en motores chicos la instalación sería costosa.

Otro renglón importante de las pérdidas térmicas lo constituye el calor irradiado desde las paredes del cilindro y cámaras de combustión. Recuérdese que para evitar que las mismas alcanzaran temperaturas inadmisibles se les enfriaba con aire o con agua. Todo el calor así absorbido representa una pérdida del orden de un 30 % o más.

Las *pérdidas mecánicas* se deben en su mayor parte a rozamientos en los cojinetes que, bien lubricados, reducen la magnitud de la energía perdida.

También debe considerarse como energía perdida la que se emplea en mover los accesorios del motor, como ser árbol de levas, generador o magneto, distribuidor, ventilador, etc. Si bien es cierto que las cifras son pequeñas, no por ello se deben despreciar.

En resumen, en un motor que tiene un rendimiento de 30 %, hay un 70 % de pérdidas, y en los motores chicos, en que sólo se alcanza un rendimiento de 25 %, las pérdidas representan un 75 % de la energía disponible, que se reparte aproximadamente en la siguiente forma:

Energía útil	25 %
Pérdidas por calor de escape ...	35 „
Pérdidas por irradiación	35 „
Pérdidas mecánicas	5 „
Total de energía disponible ..	100 %

Día 15

El estudio realizado hasta el presente nos ha permitido conocer el funcionamiento y partes componentes de la gran mayoría de los motores que encontraremos en la práctica corriente. Cada motor tiene, según ya sabemos, una gran cantidad de elementos, y se supone que todos están en correcto estado para que el funcionamiento sea el que corresponde. Además, algunos elementos tienen la posibilidad de regulación, como es el caso de los carburadores en los motores a explosión, por ejemplo. Si algún elemento no se halla en buenas condiciones o, si es regulable, está mal regulado, el motor funciona en forma defectuosa o no funciona.

Esta obra está destinada a describir el funcionamiento de los motores, es decir, supone que todo está bien, pero como en la práctica es común que se produzcan fallas de funcionamiento, hemos decidido dedicar la última jornada a realizar un estudio sintético de las fallas más comunes que ocurren. Es evidente que si se quisiera describir todas las fallas posibles, deberíamos dedicar todo un libro a ello, y hay tratados especializados en ese tema. El trabajo de esta jornada será una guía simple que sirva de orientación y el lector deberá tomarla como simple modelo ilustrativo. La práctica le dará toda la lista restante de fallas si se dedica a tan interesante tarea.

FALLAS EN LOS MOTORES

FALLAS DE MOTORES A EXPLOSION

El funcionamiento del motor a explosión, tal como se ha tratado hasta aquí, supone el correcto estado de todas las partes integrantes, las que deben estar en perfecta conservación y recibiendo la atención prevista.

No obstante, como hay muchas piezas y accesorios, suelen producirse fallas que hacen el funcionamiento defectuoso o lo impiden totalmente. El origen de las mismas casi siempre se debe al desgaste por el uso y rara vez a defectos constructivos, aunque estos últimos no deben ser descartados.

Una buena atención del motor y frecuente revisión de todas sus partes es el mejor preventivo contra las fallas. La revisión comprende la limpieza y prueba de cada una de ellas, asegurándose el funcionamiento adecuado de los diversos sistemas: refrigeración, lubricación y encendido.

Si bien no se pueden sentar normas estrictas sobre una diagnosis completa de los desperfectos posibles, pueden enumerarse los principales dando las soluciones a cada caso particular.

Para tal fin se pueden subdividir las fallas en dos formas distintas, según se lo haga sobre la base del grupo de accesorios que forman un sistema o de los síntomas que presenta el motor. Generalmente se prefiere este último procedimiento, porque el mismo motor demuestra o acusa sus defectos, y hay que habituarse a reconocerlos.

De este modo tenemos varios grupos de desperfectos según que el motor no arranque, que lo haga en forma defectuosa o que funcione en forma irregular. Trataremos cada caso por separado.

El motor no arranca

Cuando se desea poner en marcha el motor y se comprueba que no arranca, ello puede deberse a que no funciona el motor auxiliar de accionamiento (si existe tal implemento), o a fallas del motor mismo.

Fallas del motor de accionamiento

El motor que se utiliza para el arranque es eléctrico, y por lo tanto sus fallas responden a las comunes en esta clase de motores, que se clasifican en dos grupos. Cuando no llega corriente a él y el motor está en buenas condiciones, y cuando llega la corriente y el motor está en mal estado.

1º) NO LLEGA CORRIENTE AL MOTOR

Causas:

A. — Batería agotada.
B. — Conexiones flojas.
C. — Bornes sucios.
D. — Cables cortados.

Remedios:

A. — Quitar acumulador, revisarlo y cargarlo.
B. — Revisar prolijamente bornes y conexiones.
C y D. — Lo mismo que para B.

2º) MOTOR ELÉCTRICO NO ARRANCA, PERO LLEGA CORRIENTE

Causas:

A. — Bobinados cortados.
B. — Bobinados en cortocircuito.
C. — Bobinados a masa.
D. — Carbones gastados o sucios.
E. — Colector sucio.
F. — Falta de presión en los resortes de los carbones.

Remedios:

A, B y C. — Revisar prolijamente el inducido e inductor comprobando continuidad y aislación.
D. — Sacar carbones y limpiarlos.
E. — Esmerilar colector y pasar una hoja de sierra entre cada par de delgas para quitar rebarbas.
F. — Arreglar o cambiar resortes.

Fallas en la carburación

Si el motor auxiliar de arranque funciona bien o si no tiene motor de accionamiento y el arranque es a manija, y se comprueba que haciendo girar el cigüeñal no se logra que comience el funcionamiento, la falla puede ser en la carburación, en el encendido o en la compresión. Veamos ahora el primer grupo.

1º) FALTA DE COMBUSTIBLE

Causas:

A. — Tuberías o grifos obstruídos.
B. — Tuberías rotas.
C. — Eyector del carburador obstruído.
D. — Pérdidas de aire en el tanque de vacío.
E. — Filtros obstruídos.
F. — Bomba de nafta no funciona.

Remedios:

A. — Soplar por un extremo de la tubería.
B. — Reparar la rotura.
C. — Destapar pulverizador o despegar la aguja.
D. — Cambiar juntas de tapa, ajustar o apretar tornillos.
E. — Limpiarlos con cepillo de cerda mojado en nafta.
F. — Desarmarla, revisar diafragma y cambiarlo si está roto.

2º) MEZCLA CARBURANTE POBRE

Causas:

A. — Ajuste defectuoso del carburador.
B. — Presencia de agua en la nafta.
C. — Basuras que obstruyen parcialmente el carburador.

Remedios:

A. — Regular carburador.
B. — Quitar nafta del carburador y colocar nueva hasta que el motor arranque.
C. — Revisar, soplar, echar nafta en sentido contrario.

3º) MEZCLA CABBURANTE DEMASIADO RICA

Causas:

A. — Aguja del carburador muy abierta.
B. — Abuso del cebador.
C. — Motor ahogado.

Remedios:

A. — Regular carburador.
B y C. — Cerrar llave ignición, cerrar cebador y acelerar totalmente haciendo dar vuelta el motor, probando si arranca al cerrar el encendido.

4º) PRESENCIA DE AGUA EN LOS CILINDROS

Causas:

A. — Rotura de la culata.
B. — Rotura de los cilindros.
C. — Rotura de la junta de culata.
D. — Afloje del cierre por estiración de los bulones.

Remedios:

A y B. — Desarmar y soldar.
C. — Desarmar y cambiar la junta.
D. — Apretar bulones.

Fallas en el encendido

Si toda la parte mecánica del motor está en buenas condiciones, llegando nafta al carburador, entrando correctamente el aire en el mismo y asegurada la hermeticidad del cierre de los cilindros, la falta de arranque del motor puede deberse al sistema de encendido defectuoso.

1º) No hay chispas en las bujías

Causas:

A. — Batería descargada.
B. — Conexiones flojas o cortadas.
C. — Bujías sucias.
D. — Humedad en la bobina, distribuidor o bujías.
E. — Brazo del ruptor trabado.
F. — Luz incorrecta en las bujías.

Remedios:

A. — Sacar batería y reponer carga.
B. — Revisar prolijamente los cables en continuidad y aislación; revisar bornes.
C. — Sacar bujías y esmerilar las puntas.
D. — Si es la bobina, sacarla y secarla en una estufa; si es el distribuidor, lavarlo con nafta y si son las bujías frotarlas con un trapo seco.
E. — Desarmar distribuidor y revisarlo.
F. — Ajustar separación de las puntas de acuerdo con las especificaciones de la fábrica.

2º) El encendido no está a punto

Causas:

A. — Orden incorrecto de encendido.
B. — Mecanismo automático trabado.
C. — Capacitor del distribuidor en malas condiciones.

Remedios:

A. — Quitar conexiones a las bujías y colocarlas en el orden debido.
B. — Desarmar y revisar.
C. — Probar capacitor y cambiarlo.

Fallas en la compresión

Este renglón no siempre impide el arranque del motor, sino que se manifiesta por una pérdida de potencia. Si no arranca se nota que el volante no encuentra resistencia en el giro.

Causas:

A. — Aros gastados.
B. — Pérdidas entre pistón y cilindro.
C. — Incompleto cierre de válvulas.

Remedios:

A. — Cambiar aros.
B. — Rectificar cilindros.
C. — Quitar válvulas y esmerilar asiento.

El motor falla en las explosiones

Una vez que el motor arranca puede darse el caso de observar un ruido irregular en el funcionamiento, el cual es índice de que no se producen todas las explosiones debidas.

Causas:

A. — Fallas en el sistema de encendido.
B. — Bujías mal reguladas.
C. — Alimentación insuficiente.
D. — Mal cierre de válvulas.
E. — Motor muy frío.

Remedios:

A y B. — Seguir indicaciones anteriores.
C. — Revisar y regular carburador.
D. — Sacar válvula y esmerilar asientos.
E. — Esperar un rato para ver si calienta; si no ocurre así estrangular el paso de agua.

El motor produce golpes

Durante el funcionamiento se nota a veces que el motor "golpea", produciendo ruidos característicos fáciles de identificar.

Causas:

A. — Juego en los cojinetes.
B. — Avance excesivo del encendido.

Remedios:

A. — Desarmar motor, revisar cojinetes, cigüeñal, bielas, pistones y pernos.
B. — Disminuir y regular el avance.

Fallas diversas

Los desperfectos más comunes de los motores a explosión han sido tratados hasta aquí, pero quedan otros que son muy frecuentes y que no admiten una agrupación, por lo que se los describirá por afinidad de síntomas.

1º) El motor calienta en exceso

Causas:

A. — Circulación de agua obstruída.
B. — Bomba de agua defectuosa.
C. — Rotura de la correa del ventilador.
D. — Encendido retardado.
E. — Excesivo depósito de carbón.
F. — Lubricación insuficiente o incorrecta.

Remedios:

A. — Destapar tuberías, revisar radiador, comprobar circulación.
B. — Comprobar si giran los engranajes; desarmar y limpiar.
C. — Cambiarla.
D. — Regular encendido.
E. — Como se forma una capa aislante que impide la refrigeración hay que proceder a quitarla.
F. — Revisar aceite, agregar la cantidad que falta, cambiarlo si está sucio, revisar bombas y tuberías.

2º) Consumo excesivo de lubricante

Causas:

A. — Cilindros ovalizados.
B. — Aros gastados.
C. — Pérdidas de aceite.

Remedios:

A. — Rectificar cilindros.
B. — Cambiar aros.
C. — Revisar las juntas del cárter.

3º) PRESENCIA DE HUMO EN EL ESCAPE

Causas:

A. — Humos blancos: aceite quemado.
B. — Humos negros: exceso de nafta en la mezcla.

Remedios:

A. — Corresponde al punto de consumo excesivo de aceite.
B. — Ajustar carburador para regular la mezcla carburante.

La nómina precedente no es completa, pero presenta el cuadro de las fallas frecuentes en los motores a explosión. Hay otras ocasionales que no pueden preverse por su carácter especial y que, por lo tanto, requieren soluciones ajustadas a la emergencia pertinente.

FALLAS DE MOTORES DIESEL

Es muy importante en los motores Diesel la determinación rápida de fallas, las que subsanadas a tiempo, evitan males mucho mayores; por tratarse de motores de alto índice de compresión, y por depender su funcionamiento en grado extremo de las presiones de los flúidos que intervienen, es recomendable que se comprueben periódicamente todas esas presiones. Hay quien ha dicho que el motor Diesel permite investigar cualquier falla mediante los cuatro sentidos, es decir, con la vista, el oído, el olfato y el tacto, dejando de lado al quinto por razones obvias. En efecto, la observación de los instrumentos o de los gases de escape, los ruidos raros durante el funcionamiento, el olor del aceite quemado o del carter y del humo y finalmente, las trepidaciones o golpes que se perciben arrimando la mano al motor, son todos indicios seguros de posibles fallas perceptibles mediante los sentidos del ser humano.

Encontrada o adivinada una falla, debe resolverse si el funcionamiento puede continuar a la espera de la reparación posterior o, en ciertos casos, si debe detenerse de inmediato la marcha para encarar el arreglo de lo que anda mal. En lo que sigue se han enumerado muchas de las fallas que pueden diagnosticarse en los motores Diesel, haciendo desde ya la advertencia de que tal lista no puede ser completa pero si orientadora.

Hay baja presión del lubricante

El motor tiene un manómetro indicador de la presión del aceite lubricante, y tal instrumento acusa baja presión.

Causas:

A. — El manómetro está en malas condiciones.
B. — Tubos de conexión al manómetro con obstrucciones.
C. — Combustible que se mezcló con el lubricante.
D. — Filtro de aceite sucio.
E. — Pérdidas en la bomba de lubricante.
F. — Bomba en malas condiciones.
G. — Aceite lubricante en malas condiciones.
H. — Aceite demasiado caliente o demasiado frío.
I. — Cojinetes gastados.

Remedios:

A. — Revisar y reparar o cambiar por uno nuevo.
B. — Soplar aire a presión para destapar.
C. — Cambiar aros y mientras reponer aceite con frecuencia.
D. — Revisar y limpiar filtro y válvula.
E. — Si agregando aceite pesado al eje la presión aumenta, es que ese eje está gastado y debe cambiarse. Revisar empaquetaduras y juntas.
F. — Lo mismo que para E.
G. — Revisar obstrucciones, densidad, residuos; cambiar aceite y volver a observar.
H. — Si calienta, revisar sistemas de enfriamiento. Si está frío en el arranque hay que colocar agua caliente en el radiador.
I. — Reemplazar.

Hay presión excesiva del lubricante

Si bien lo más común en fallas es la presión por debajo de la normal en el lubricante, puede darse el caso de indicación alta de esa presión.

Causas:

A. — Manómetro en malas condiciones.
B. — Válvula de seguridad en malas condiciones.
C. — Aceite de viscosidad incorrecta.

Remedios:

A. — Revisar y reparar o cambiar por uno nuevo.
B. — Si está atascada en posición de cierre, destrabar.
C. — Es de mayor grado. Agregar aceite liviano o cambiar todo.

Hay presión excesiva de escape

En los motores nuevos raramente hay defectos que ocasionen este tipo de falla, no obstante lo cual si la longitud del caño de escape es excesiva o su diámetro es insuficiente, hay contrapresión alta de escape. Esto advierte sobre el caso de recambio de dicho caño. Los casos más frecuentes son:

Causas:

A. — Instalación de escape en malas condiciones.
B. — Silenciador sucio.
C. — Explosiones en el conducto silenciador.

Remedios:

A. — Revisar suciedad, especialmente en los codos.
B. — Revisar desprendimientos, grietas y perforaciones. Cambiar seccion mala o, según posibilidad, recambio total.

C. — Si pasa aceite puede haber explosiones. Revisar presión en cilindros; cambiar aros si hace falta.

Lecturas incorrectas en los manómetros

Hay motores equipados con varios manómetros, sin contar con la aplicación de otros para medir presiones donde interesa. Las lecturas correctas en estos instrumentos son conocidas, pues vienen especificadas por la fábrica del motor. Las lecturas incorrectas se deben a alguna falla, entre las cuales pueden citarse las más comunes.

Causas:

A. — Indicación insuficiente del manómetro de combustible.
B. — Indicación insuficiente del manómetro de agua.
C. — Indicación insuficiente del manómetro de compresión.
D. — Indicación insuficiente del manómetro de aire.

Remedios:

A. — Puede faltar combustible. Puede haber obstrucción en las tuberías por suciedad o congelamiento. Revisar bomba y filtros. Revisar pérdidas en tuberías.
B. — Limpiar los intercambiadores. Sacar aire de las tuberías de agua. Si hay termostato, revisar.
C. — Aros gastados; cambiarlos. Pistones o camisas gastadas; recambio. Revisar las válvulas; limpiar o asentar. También regular la luz. Las válvulas de admisión pueden abrir poco por falta de presión del aire, en cuyo caso se está en el punto D. Si los cojinetes tienen desgaste, el pistón no alcanza la altura debida: recambio de cojinetes. Las rajaduras del block hacen bajar la presión; soldar.
D. — Bomba de aire sucia; limpiar. Revisar inyectores y conductos. Revisar y limpiar filtro de aire.

Lecturas incorrectas de los termómetros

El motor Diesel trabaja con un régimen de temperatura que es importante mantener, tal vez con mucho mayor cuidado que en otros tipos de motores. Las lecturas de los termómetros deben atenderse con frecuencia. Las fallas más comunes son las que se enumeran.

Causas:

A. — Temperatura muy baja del lubricante.
B. — Temperatura muy alta del lubricante.
C. — Temperatura baja del agua de enfriamiento.
D. — Temperatura alta del agua.
E. — Temperatura baja en un cilindro.
F. — Temperatura excesiva en el escape de un cilindro.
G. — Temperatura reducida en todos los cilindros.
H. — Temperatura excesiva en todos los cilindros.

Remedios:

A. — Calentar el aceite en tiempo frío. Revisar exceso de agua de refrigeración. Revisar válvula automática de aceite.
B. — Revisar circulación de aceite, bomba y válvula de seguridad. Revisar sistema de enfriamiento. Controlar aros y cojinetes del motor.
C. — Revisar válvulas y termostatos del agua.
D. — Revisar válvulas y termostatos. Tuberías obstruidas o con pérdidas. Purgar aire de cañerías de agua.
E. — Revisar admisión y regular. Revisar pulverizador y tuberías. Controlar avances y retardos de válvulas y de inyección.
F. — Lo mismo que para E.
G. — Revisar bomba de combustible, tuberías y sistemas de inyección. Ajustar regulador.
H. — Revisar viscosidad del aceite. Hay desgaste de motor; revisar aros, juntas y cojinetes. Revisar sobrecargador si lo hay. Controlar sistema de enfriamiento.

Relaciones incorrectas entre presiones y/o temperaturas

Se han analizado aisladamente fallas acusadas por presiones y temperaturas. Muchas veces los indicios de funcionamiento defectuoso los dan la relación entre dos factores que pueden ser presiones o temperaturas, o una y otra vinculadas entre sí. A continuación se tratan los casos más comunes.

Causas:

A. — Bajas presión y temperatura en un cilindro.
B. — Bajas presión de combustión y temperatura de escape en todos los cilindros.
C. — Altas presión de combustión y temperatura de escape en uno o en todos los cilindros.
D. — Bajas presión de compresión y temperatura de escape.
E. — Altas presión de compresión y temperatura de escape.
F. — Baja presión de compresión y alta temperatura de escape.

Remedios:

A. — Aumentar el suministro de combustible en ese cilindro.
B. — Revisar bomba. Purgar tuberías. Limpiar filtros. Ajustar el registro.
C. — Retardar la inyección de combustible.
D. — Poner empaquetadura de cabeza más delgada. Aumentar el número de espesores en el pie de bielas. Revisar cojinetes gastados.
E. — Revisar humo de escape para saber si hay que ajustar el regulador. Reducir inyección de combustible.
F. — Hay fugas de válvulas. Revisar aros y cojinetes de motor. Sincronizar válvula de escape.

Hay humo en el escape, cárter o cabezas de cilindros

La presencia de humo es generalmente indicio de fallas en el motor. Se enumeran las causas

más probables, indicando en cada caso el remedio.

Causas:

A. — Humo marrón o negro en el escape.
B. — Humo azulado en el escape.
C. — Humo blanco en el escape.
D. — Humo en el cárter.
E. — Humo en las cabezas de cilindro.
F. — Humo en los accesorios.

Remedios:

A. — Limpiar filtros de aire. Aumentar luz de válvulas de escape. Ajustar bomba de combustible por ser éste excesivo. Hay cilindros sobrecargados; revisar bomba e inyectores. Controlar tipo de combustible y de lubricante.
B. — Es aceite quemado; revisar aros y juntas. También revisar combustible, pues puede ser inadecuado.
C. — Revisar si pasa agua al combustible, si la temperatura no es demasiado baja y si la combustión es completa; controlar dosaje.
D. — Revisar cojinetes de biela y bancada. Revisar aros, camisas y pistones. Revisar si hay explosiones en el cárter. Revisar temperatura de agua y aceite pues pueden ser excesivas. Revisar viscosidad del aceite.
E. — Revisar guarniciones, tornillos de inyectores y rajaduras posibles. Revisar si hay suficiente agua de enfriamiento. Controlar guías de válvulas.
F. — Revisar recalentamientos de piezas que rozan.

Hay consumos excesivos de aceite, agua o combustible

Los consumos excesivos pueden ser fallas del motor o simplemente pérdidas de los tanques o tuberías. No obstante ser el segundo caso un factor simplemente económico se involucra en el estudio de fallas.

Causas:

A. — Consumo excesivo de aceite.
B. — Consumo excesivo de agua.
C. — Consumo excesivo de combustible.

Remedios:

A. — Revisar tuberías, bomba y filtro. Controlar viscosidad. Revisar guías de válvulas, aros y cojinetes del motor, pistones y camisas.
B. — Revisar tuberías, radiador y bomba. Revisar sobrecarga del motor. Controlar temperatura del agua; si es excesivo hay aumento de consumo.
C. — Si no hay pérdidas directas revisar si no se produce combustión incompleta; revisar y regular bomba.

Aceite, agua o combustible en malas condiciones

La revisión periódica de estos flúidos permite determinar una gran cantidad de fallas. Se analizan algunas de las más comunes.

Causas:

A. — Combustible en el aceite lubricante.
B. — Agua en el aceite lubricante.
C. — Aceite en el agua.
D. — Agua en el combustible.
E. — Aire o gases en el agua.
F. — Espuma en el aceite.

Remedios:

A. — Hay desgaste del motor; revisar aros, cojinetes, pistones y camisas. Revisar pérdidas en los inyectores. Controlar si el motor no funciona a muy baja velocidad o sin carga en períodos largos.
B. — Revisar pérdidas en camisa de cilindros. Revisar empaquetadura del block. Buscar rajaduras. Revisar si hay condensación de vapor en el cárter. Controlar si el aceite no trae agua consigo.
C. — Buscar fugas en empaquetaduras o en el enfriador de aceite. Revisar si hay exceso de grasa en el eje de la bomba o en las válvulas del sistema de enfriamiento.
D. — Controlar si el combustible no trae agua; en tal caso centrifugarlo. Revisar si no hay condensación de vapor en los tanques.
E. — Revisar cabezas rajadas. Revisar bomba, prensaestopa y empaquetaduras.
F. — Hay recalentamiento; revisar si hay gases de combustión en el cárter. Revisar si hay fugas en la bomba de aceite. Controlar presión del aceite.

Hay ruidos anormales en el motor

Todo operador conoce el ruido normal del motor que atiende en las distintas condiciones de funcionamiento. Cualquier ruido anormal debe ser investigado, pues es causa de alguna falla. Analizaremos algunas de las comunes.

Causas:

A. — Golpeteo de motor.
B. — Pistoneo.
C. — Tintineos metálicos.

Remedios:

A. — Revisar pernos de cojinetes de manivelas, contrapesos de cigüeñal y bujes. No deben agregarse tuercas que producirán desequilibrios dinámicos. Revisar tren de engranajes y volante del motor.
B. — Hay fallas de combustión o detonancia. Revisar avances y retardos además de las dosificaciones. En clima frío, precalentar aceite, agua y combustible. Revisar válvulas de inyectores y resortes. Controlar asientos de válvulas.
C. — Revisar vástagos y guías de válvulas. Revisar rodillos y pasadores. Controlar si alguna válvula no queda abierta. Revisar caja de engranajes.

Fallas diversas

Hay numerosas anormalidades que no pueden ser agrupadas en los subtítulos anteriores por responder a causas del más variado origen. Es lógico que la enumeración que sigue es sólo orientadora, ya que es imposible tratar todos los casos que pueden presentarse.

Causas:

A. — No gira el motor de arranque.
B. — El motor recula entre puntos muertos.
C. — No se alcanza la velocidad de arranque.
D. — El motor gira pero no arranca.
E. — El motor arranca pero funciona en forma irregular.
F. — El motor pierde velocidad.
G. — Hay pérdida de velocidad pero se recupera.
H. — El motor se para solo.
I. — Hay exceso de velocidad.
J. — Hay pérdida de potencia.
K. — No se puede parar al motor.
L. — Válvula de seguridad actúa en forma intermitente.

Remedios:

A. — Revisar si hay agua en los cilindros; secar haciendo girar a mano. Si se usa aire comprimido para arranque, el agua puede venir con el aire; revisar. Revisar si los cojinetes están demasiado ajustados. Revisar si no se ha dejado un objeto dentro de algún cilindro; moviendo a mano, el objeto golpea con el pistón. Comprobar si todas las toberas tienen guarnición bajo el soporte. Revisar la sincronización de la bomba, pues puede ocurrir que el pistón no llegue al punto muerto superior. Comprobar presión del aire comprimido y revisar el distribuidor de aire para arranque.

B. — Revisar pérdidas en las válvulas de aire y el distribuidor de aire de arranque.

C. — Revisar presión del aire, conductos y válvulas. En clima frío precalentar el lubricante. Si hay batería de arranque, revisarla. Asimismo el resto del circuito eléctrico de arranque. Revisar el bendix y sus elementos asociados.

D. — Comprobar si el acelerador está en posición de marcha. Revisar las varillas del regulador, por si están atrancadas. Revisar si hay paso de combustible cebando con la bomba de mano. Revisar los filtros por si hay agua; si ocurre hay que centrifugar. Ver si hay aire en el combustible. Comprobar la presión de compresión en todos los cilindros; si es baja, cambiar aros, camisas o pistones, según el caso. Verificar si la cantidad de aire es suficiente; en tiempo frío, precalentar.

E. — Revisar si hay obstrucción de tuberías con aire. Verificar si hay suficiente drenaje de combustible. Revisar bomba de combustible, distribuidor y filtros. Revisar funcionamiento de toberas. Compruebe si el agua no está demasiado fría. Revisar luz de válvulas. Revisar junta de tapa del motor; una pérdida puede ser oída.

F. — Revisar si hay agua en el tanque de combustible. Purgar el aire de las tuberías de combustible. Comprobar ajuste del regulador. Revisar el nivel del aceite. Parar el motor y abrir los grifos para comprobar si hay agua en los cilindros; si ocurre, hay fisuras o juntas malas. Si hay además alta temperatura, revisar todo lo dicho para esos casos. En clima frío, precalentar aceite lubricante, y mientras, mezcle un poco de aceite liviano o querosene.

G. — Hay sustancias extrañas en el aire o en el combustible. Revisar si hay burbujas de aire en el circuito de combustible; si ocurre, purgar o cambiar todo el combustible por otro limpio.

H. — Verificar si hay aire en el combustible. Revisar la válvula de combustible. Revisar si hay agua en los colectores de los filtros. Revisar la bomba de combustible. Puede haber trozos de válvulas o puntas de toberas dentro del cilindro impidiendo la llegada del pistón al punto muerto superior; se comprueba haciendo girar a mano y escuchando.

I. — Comprobar ajuste del regulador. Revisar las varillas del control de combustible. Ver si ha pasado aceite al múltiple o a las cajas de aire.

J. — Reducir la carga del motor. Revisar si entra agua a los cilindros por la junta de culata. Revisar si hay válvulas pegadas. Revisar la bomba de circulación de combustible, si la hay, y la de combustible. Revisar filtros y lumbreras de aire; limpiar. Verificar la alineación de ejes del motor y de la unidad impulsada.

K. — Cortar la entrada de aire a los cilindros y revisar el regulador, especialmente sus resortes.

L. — Reajustar la bomba de combustible; si hay exceso de éste, la excesiva presión hace abrir la válvula. Revisar válvulas de inyectores y levas de admisión.

ÍNDICE GENERAL

CHRISTIAN GELLERT
con la dirección técnica del
ING. FRANCISCO L. SINGER

APRENDA MOTORES EN 15 DIAS

a VAPOR
a GAS
a EXPLOSION
DIESEL

SEGUNDA EDICION



EDITORIAL HISPANO AMERICANA S. A.
ALSINA 731 BUENOS AIRES